

PROJECTOIN OPTICAL SYSTEM, METHOD OF MANUFACTURING THE OPTICAL SYSTEM, AND PROJECTION EXPOSURE SYSTEM EQUIPPED WITH THE OPTICAL SYSTEM

Publication number: JP2002083766 (A)

Publication date: 2002-03-22

Inventor(s): TAKAHASHI TETSUO; NISHIKAWA HITOSHI; OMURA YASUHIRO +

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK +

Classification:

- international: G02B13/00; G02B13/14; G02B17/08; G02B27/18; G02B7/02; G03F7/20; H01L21/027; G02B13/00; G02B13/14; G02B17/08; G02B27/18; G02B7/02; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): G02B13/00; G02B17/08; G02B7/02; G03F7/20; H01L21/027

- European: G02B13/14B; G02B17/08A1; G02B17/08M; G02B17/08U; G02B27/18; G03F7/20T16

Application number: JP20010169476 20010605

Priority number(s): JP20010169476 20010605; JP20000183380 20000619

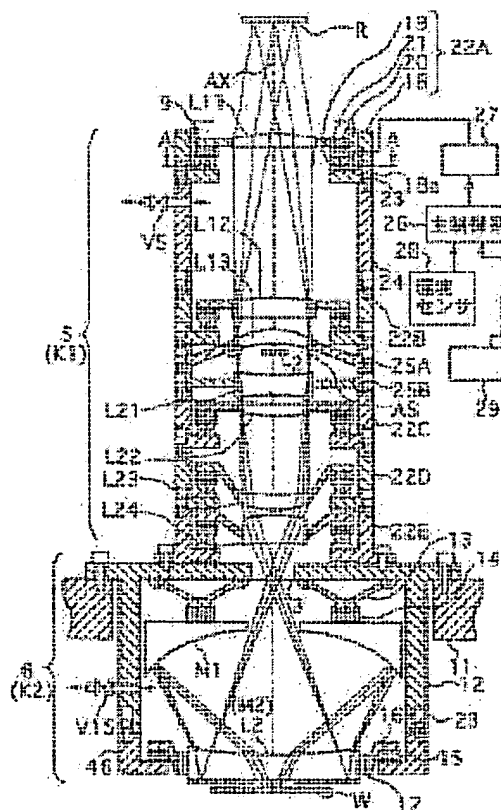
Also published as:

US2002044260 (A1)

US6757051 (B2)

Abstract of JP 2002083766 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection optical system, which can obtain high optical performance, being able to stably maintain the conditions of a prescribed optical element or the positional relation between prescribed plural optical elements, when it is constituted, for example, of a catadioptric system. **SOLUTION:** The image of the pattern of a reticle is projected on a wafer W via a projection optical system, composed of a first image-forming optical system K1 and a second image-forming optical system K2, consisting of a catadioptric system. The first image-forming optical system K1 is supported with the first barrel 5, the second image-forming optical system K2 is supported with the second barrel 6, and the barrels 5 and 6 are fixed demountably to a support plate 11. The first barrel 5 is constituted by coupling a plurality of active divided tubes 22A-22E, etc., in the direction of the optical axis, and the second barrel 6 is constituted through coupling divided tubes 12 and 46 in the direction of the optical axis, and two reflectors M1 and M2 inside the second barrel 6 are retained under the condition, that the displacement control relatively five degrees of freedom can be obtained.



Data supplied from the *espacenet* database — Worldwide

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-083766

(43)Date of publication of application : 22.03.2002

(51)Int.Cl. H01L 21/027

G02B 7/02

G02B 13/00

G02B 17/08

G03F 7/20

(21)Application number : 2001-169476

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 05.06.2001

(72)Inventor : TAKAHASHI TETSUO
NISHIKAWA HITOSHI
OMURA YASUHIRO

(30)Priority

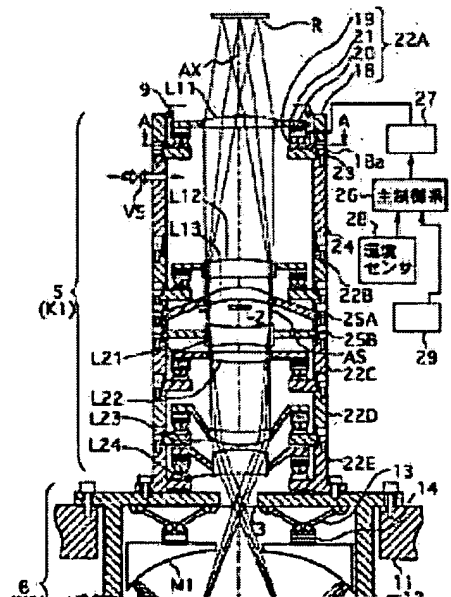
Priority number : 2000183380 Priority date : 19.06.2000 Priority country : JP

(54) PROJECTION OPTICAL SYSTEM, METHOD OF MANUFACTURING THE OPTICAL SYSTEM, AND PROJECTION EXPOSURE SYSTEM EQUIPPED WITH THE OPTICAL SYSTEM

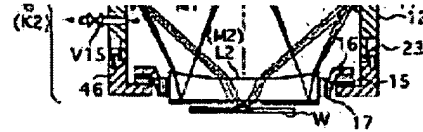
(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection optical system, which can obtain high optical performance, being able to stably maintain the conditions of a prescribed optical element or the positional relation between prescribed plural optical elements, when it is constituted, for example, of a catadioptric system.

SOLUTION: The image of the pattern of a reticle is projected on a wafer W via a projection optical system, composed of a first image-forming optical system K1 and a second image-forming optical system K2, consisting of a catadioptric system. The first image-forming optical system K1 is supported with the first barrel 5, the second image-forming optical system K2 is supported with the second barrel 6, and the barrels 5 and 6 are fixed



demountably to a support plate 11. The first barrel 5 is constituted by coupling a plurality of active divided tubes 22A-22E, etc., in the direction of the optical axis, and the second barrel 6 is constituted through coupling divided tubes 12 and 46 in the direction of the optical axis, and two reflectors M1 and M2 inside the second barrel 6 are retained under the condition, that the displacement control relatively five degrees of freedom can be obtained.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-83766

(P2002-83766A)

(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002.3.22)

(51) Int. CL ⁷	識別記号	F I	サーチコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 2 B 7/02	A 2 H 0 4 4
G 0 2 B 7/02			C 2 H 0 8 7
		13/00	5 F 0 4 6
13/00		17/08	A
17/08		G 0 3 F 7/20	5 2 1
審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 35 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-169476 (P2001-169476)

(22) 出願日 平成13年6月5日 (2001.6.5)

(31) 優先権主張番号 特願2000-183380 (P2000-183380)

(32) 優先日 平成12年6月19日 (2000.6.19)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 哲男

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 西川 仁

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100098165

弁理士 大森 聡

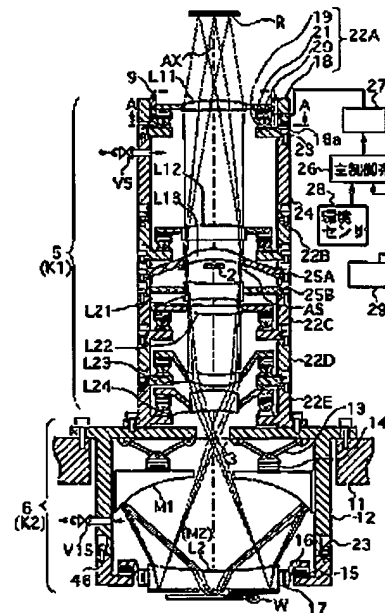
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、該光学系の製造方法、及び前記光学系を備えた投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 例えば反射屈折系より構成した場合に、所定の光学素子の状態、又は所定の複数の光学素子間の位置関係を安定に維持でき、高い光学性能の得られる投影光学系を提供する。

【解決手段】 レチクルRのパターンの像を、屈折系よりなる第1結像光学系K1と、反射屈折系よりなる第2結像光学系K2とから構成される投影光学系を介してウエハW上に投影する。第1結像光学系K1を第1パレル5で支持し、第2結像光学系K2を第2パレル6で支持し、パレル5、6を支持板11に対して着脱自在に固定する。第1パレル5を複数の能動型分割鏡筒22A~22E等を光軸方向に連結して構成し、第2パレル6を分割鏡筒12、46を光軸方向に連結して構成し、第2パレル6内の2つの反射鏡M1、M2は相対的に5自由度の変位制御ができる状態で保持する。



(2)

特開2002-83766

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一つの屈折部材及び複数の反射部材を含む光学素子群を有し、第1面の物体の像を第2面上に形成する投影光学系であって、前記光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニットを備え、

該複数の鏡筒ユニット中の一つの鏡筒ユニットで前記複数の反射部材の全部を保持することを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 前記第1面と前記第2面との間の第3面に中間像を形成する部分光学素子群を有すると共に、前記部分光学素子群を前記複数の鏡筒ユニット中の一つの鏡筒ユニットで一体的に保持することを特徴とする請求項1記載の投影光学系。

【請求項3】 前記光学素子群は1本の光軸に沿って配置されることを特徴とする請求項1又は2記載の投影光学系。

【請求項4】 前記光学素子群は、第1の光軸に沿って配置された第1の部分光学素子群と、前記第1の光軸と交差する方向に延びた第2の光軸に沿って配置されて前記第1の部分光学素子群と光学的に接続された第2の部分光学素子群と、前記第2の光軸と交差する方向に延びた第3の光軸に沿って配置されて前記第2の部分光学素子群と光学的に接続された第3の部分光学素子群とを備えることを特徴とする請求項1又は2記載の投影光学系。

【請求項5】 前記第2の部分光学素子群は、前記複数の反射部材の全てを有することを特徴とする請求項4記載の投影光学系。

【請求項6】 前記複数の鏡筒ユニットは互いに独立に支持されることを特徴とする請求項1、2、又は3記載の投影光学系。

【請求項7】 第1面の物体の所定倍率の像を第2面上に形成する光学素子群を含む投影光学系において、

前記光学素子群は第1及び第2の副光学素子群を備え、前記第1の副光学素子群を第1光軸に沿って一体的に保持する第1鏡筒ユニットと、

前記第2の副光学素子群を前記第1光軸と共軸の第2光軸に沿って一体的に保持する第2鏡筒ユニットとを備え、

前記第1の副光学素子群に関する物点と像点との間を前記第1光軸に沿って $1:\beta_1$ (β_1 は1以外の実数)で分割する点を通り、且つ前記第1光軸に垂直な平面、又は該平面の近傍の面によって前記第1鏡筒ユニットを保持し、

前記第2の副光学素子群に関する物点と像点との間を前記第2光軸に沿って $1:\beta_2$ (β_2 は1以外の実数)で分割する点を通り、且つ前記第2光軸に垂直な平面、又は該平面の近傍の面によって前記第2鏡筒ユニットを保持することを特徴とする投影光学系。

2

【請求項8】 前記複数の鏡筒ユニットの少なくとも一つの鏡筒ユニットは、該鏡筒ユニットによって保持される所定の光学素子の状態を調整する調整機構を有することを特徴とする請求項1、2、3、6、又は7記載の投影光学系。

【請求項9】 前記複数の鏡筒ユニットの少なくとも一つは、更にそれぞれ一つ又は複数の光学素子を保持する複数の保持ブロックを備え、該複数の保持ブロックは、それぞれ保持対象の光学素子の状態を調整する調整機構を有することを特徴とする請求項1～8の何れか一項記載の投影光学系。

【請求項10】 前記複数の鏡筒ユニットの少なくとも一つは着脱可能であることを特徴とする請求項1、2、3、6、7、8、又は9記載の投影光学系。

【請求項11】 複数の非球面が形成された光学素子群を備え、第1面の物体の像を第2面上に形成する投影光学系であって、前記光学素子群を複数組に分けて保持する複数の保持ブロックを備え、

前記複数の保持ブロックの個数は前記非球面の面数以上であることを特徴とする投影光学系。

【請求項12】 前記光学素子群は、複数の反射部材を有し、該複数の反射部材は、それぞれ一つずつ互いに異なる前記保持ブロックに保持されることを特徴とする請求項11記載の投影光学系。

【請求項13】 光学素子群を有し、第1面の物体の像を第2面上に形成する投影光学系であって、前記光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニットを備え、

該複数の鏡筒ユニット中の少なくとも一つの鏡筒ユニットを所定の架台に吊り下げて支持することを特徴とする投影光学系。

【請求項14】 前記投影光学系は、波長200nm以下の照明光のもとで使用され、前記投影光学系の内部に前記照明光を透過するパーシガスが供給されることを特徴とする請求項1～13の何れか一項記載の投影光学系。

【請求項15】 前記光学素子群の各々は、複数の通気孔を有する枠部材又はフレーム機構で保持されることを特徴とする請求項14記載の投影光学系。

【請求項16】 波長200nm以下の光のもとで第1面の物体の像を第2面上に形成する投影光学系であって、

前記光の光路中に配置される少なくとも2つの屈折部材と；前記屈折部材を位置決めする少なくとも2つの保持ブロックと；前記保持ブロックのうちの少なくとも1つの保持ブロックに接続されて、この内側の屈折部材の間の空間に前記光を透過するパーシガスを供給する配管と；を備え、

(3)

特開2002-83766

3

前記保持ブロックは、複数の通気孔を有する枠部材又はフレーム機構を有することを特徴とする投影光学系。

【請求項17】 前記光は波長160nm以下の光を有することを特徴とする請求項16記載の投影光学系。

【請求項18】 投影原画をワークピース上に転写するための投影露光装置に用いられる投影光学系において、前記投影光学系の構成要素である複数の反射部材の全てを含む一の結像光学系と；前記投影光学系の構成要素である少なくとも1つの屈折部材を含む他の結像光学系と；前記一の結像光学系を保持する一の鏡筒ユニットと；前記他の結像光学系を保持する他の鏡筒ユニットと；を備えることを特徴とする投影光学系。

【請求項19】 少なくとも一つの屈折部材及び複数の反射部材を含む光学素子群と、該光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニットとを備えた投影光学系の製造方法であって、

前記複数の鏡筒ユニットの内の所定の鏡筒ユニットを着脱可能としておき、

前記投影光学系として既に完成している第1の投影光学系の前記所定の鏡筒ユニットの位置に調整対象の鏡筒ユニットを組み込み、前記第1の投影光学系の光学特性を計測しながら前記調整対象の鏡筒ユニットの調整を行う第1工程と、

該第1工程で調整が行われた調整済みの鏡筒ユニットと、これ以外の鏡筒ユニットとより第2の投影光学系を組み上げ、前記調整済みの鏡筒ユニットを基準として前記第2の投影光学系の調整を行う第2工程とを有することを特徴とする投影光学系の製造方法。

【請求項20】 請求項1～18の何れか一項記載の投影光学系を備え、該投影光学系を介して第1物体のパターンの像を第2物体上に投影する投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、及びマイクロマシーン等のデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置に備えられる投影光学系に関し、特に中間像を形成するか、又は直筒型の反射屈折系よりなる投影光学系の鏡筒構造、及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、マスクとしてのレチクルのパターンの像を、投影光学系を介して、基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。この要求を満足するために、露光用の照明光（露光光）の短波長

4

化、及び投影光学系の開口数（N.A.）の増大が行われて来た。ところが、露光波長が短くなると、光の吸収によって実用に耐える硝材の種類は少なくなり、特に露光波長が200nm程度以下の真空紫外（VUV）域になると、現状で使用できる硝材は合成石英、螢石（ CaF_2 ）、及びフッ化マグネシウム（ MgF_2 ）等に限られるため、いかにして色収差補正を行うかが問題となっている。

【0003】それでも、露光光としてArFエキシマレーザ（波長193nm）を使用する投影光学系は、屈折系による実用化がかなり進んでいる。しかしながら、露光波長がF₂レーザ（波長157nm）のように180nm以下になると、投影光学系を屈折系で実用化するのにはかなり困難であり、色収差を補正する手段として反射部材を備えた反射屈折系への期待が高まっている。これに関して、螢石であれば、100nm程度まで十分な透過率があることが知られており、この範囲までであれば屈折部材として使用できるので、露光波長が100nm程度までは螢石よりなる屈折部材と反射部材とを組み合わせた反射屈折光学系が成立する。

【0004】反射屈折光学系については、既にいくつかのタイプが提案されている。このうち開口絞りの中心部が遮蔽されるタイプの光学系は、2面以上の反射面を用いることで、光路偏向部材を持たずに1本の光軸に沿って直筒型ですべての光学素子を配置することができ、更には、光軸上の物体を像面に結像できるため、少ない光学素子数で広い露光フィールドを収差補正できるというメリットがあり、有力なタイプと言える。その中でも光学系の途中で中間像を作るタイプの光学系は、例えば米国特許第5,650,877号で開示されている光学系のように、中間像を持たないと共に、光量を大幅に低下させ、且つ大歪のフレアーを生じる恐れのあるハーフミラーのような光学部材が途中に配置された光学系と比べて、スループットや製造の容易性の点から優れている。このタイプの従来技術としては、米国特許第5,717,518号や米国特許第5,488,299号などが挙げられる。

【0005】また、露光波長が200nm程度以下になると、酸素、及び二酸化炭素等による露光光の吸収率が高くなるため、ウエハ等の上での照度を高めるために、投影光学系の鏡筒内部の気体を、波長200nm程度以下でも高い透過率を有する窒素ガス（ N_2 ）やヘリウムガス（ He ）等のバージガスで置換する必要がある。そのため、従来よりバージガスの種々の供給機構が提案されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く、真空紫外域の露光光を用いる場合には、投影光学系として反射屈折系が優れている。しかしながら、反射屈折系では、仮に直筒型であっても全長が屈折系に比べて長くなり、一本の鏡筒だけでは保持しにくくなる。また、米国特許第

(4)

特開2002-83766

5

5,717,518号の反射屈折系では、素材系としての反射部材が硝材系としての屈折部材に比べて大きいことから分かるように、反射屈折系では反射部材（素材系）を屈折部材（硝材系）よりも大きくする必要がある場合が多い。この場合、一本の鏡筒で比較的小さい屈折部材と、比較的大きい反射部材とを一体として保持するものとする。その鏡筒の構造が複雑化し、その鏡筒を安定に支持することが困難になる。更に、その鏡筒及び全部の光学素子の組立調整にも時間を要するため、投影光学系の製造コストが高くなる不都合がある。

【0007】そこで、反射屈折系を構成する光学素子群を一本の鏡筒ではなく、複数の分割された鏡筒、即ち複数のいわゆる分割鏡筒に分けて保持する方法も考えられる。しかしながら、それらの光学素子群を単に複数の組分けして、複数の分割鏡筒で保持するものとした場合、部分的にかなり複雑な構成の分割鏡筒が必要になる場合があると共に、各分割鏡筒同士の組合わせ等の組立調整作業が複雑化する恐れがある。

【0008】また、単に複数の分割鏡筒で保持することにより、異なる分割鏡筒に保持されている光学素子間の位置関係が設計値に対して変動する恐れがあるため、収差の発生要因が増える恐れがある。従って、複数の分割鏡筒を用いる場合には、収差の発生を抑える配置等が必要である。更に、露光光として波長200nm程度以下の真空紫外光を用いる投影露光装置において、投影光学系の内部の光路にパージガスを流す場合に、その鏡筒が複数の分割鏡筒より構成されていると、分割鏡筒の境界部でパージガスの流れに「よどみ」が生じ、酸素等の吸光物質の濃度が十分に低下しない恐れがある。特に波長170nm以下の光、例えばF₂レーザ光（波長157nm）を露光光として使用する投影露光装置においては、吸光物質の残存濃度の許容値が低くなるため、単に分割鏡筒方式を採用すると、吸光物質の残存濃度が許容値以下まで下がらない恐れがある。

【0009】本発明は斯かる点に鑑み、例えば反射屈折系より構成した場合に、所定の光学素子の状態、又は所定の複数の光学素子間の位置関係を安定に維持でき、高い光学性能の得られる投影光学系を提供することを第1の目的とする。また、本発明は、反射屈折系より構成した場合に組立調整が容易な投影光学系を提供することを第2の目的とする。

【0010】また、本発明は、例えば反射屈折系より構成した場合に、組立調整が容易であると共に、パージガスを高純度で供給できる投影光学系を提供することを第3の目的とする。更に本発明は、そのような投影光学系を効率的に製造できる投影光学系の製造方法を提供することを第4の目的とする。

【0011】更に本発明は、その投影光学系を備えた高機能の投影露光装置を提供することをも目的とする。

【0012】

6

【課題を解決するための手段】本発明による第1の投影光学系は、少なくとも一つの屈折部材（L11～L24、L2）及び複数の反射部材（M1、M2）を含む光学素子群を有し、第1面（1）の物体の像を第2面（4）上に形成する投影光学系であって、その光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニット（5、6）を備え、この複数の鏡筒ユニット中の一つの鏡筒ユニット（6）でその複数の反射部材の全部を保持するものである。

【0013】斯かる本発明は、光学部材の位置が設計上の位置からずれた場合の収差の発生量は、屈折部材に比べて、反射部材の方が大きいことに着目してなされたものである。本発明によれば、複数の反射部材の全部が一つの鏡筒ユニットで保持されるため、複数の反射部材の相対位置関係はほぼ一定の状態に保持される。そして、仮に振動等によって反射部材を保持する鏡筒ユニットが変位しても、これはその鏡筒ユニットを基準にして考えると、他の屈折部材のみを保持する鏡筒ユニットのみが変位したのと等価であるため、全体の収差の発生量は低く抑えられて、高い光学性能が得られる。

【0014】この場合、その第1面とその第2面との間の第3面（3）に中間像を形成する部分光学素子群（L11～L24）を有すると共に、その部分光学素子群をその複数の鏡筒ユニット中の一つの鏡筒ユニット（5）で一体的に保持することが望ましい。このように中間像が形成される場合、中間像の前後の光学部材の外径は大きく異なることがある。そこで、その中間像を形成する部分光学素子群を一つの鏡筒ユニットで保持することによって、部分光学素子群を容易に、かつ安定に保持できるようになる。

【0015】また、一例として、その光学素子群は1本の光軸（AX）に沿って配置される。このように直筒型の構成とすることで、全体としての鏡筒の構成が小型化されて、その光学素子群を安定に保持できる。更に、その複数の鏡筒ユニットは互いに独立に支持されることが望ましい。これによって、組立調整が容易になる。

【0016】また、別の例として、その光学素子群は、第1の光軸に沿って配置された第1の部分光学素子群と、その第1の光軸と交差する方向に延びた第2の光軸に沿って配置されてその第1の部分光学素子群と光学的に接続された第2の部分光学素子群と、その第2の光軸と交差する方向に延びた第3の光軸に沿って配置されてその第2の部分光学素子群と光学的に接続された第3の部分光学素子群とを備えたものでよい。この場合、一例として、その第1の光軸とその第2の光軸とはほぼ直交しており、その第3の光軸はその第1の光軸にほぼ平行である。また、その第2の部分光学素子群は、その複数の反射部材の全てを有してもよい。

【0017】次に、本発明の第2の投影光学系は、第1面（1）の物体の所定倍率の像を第2面（4）上に形成

(5)

特開2002-83766

7

する光学素子群を含む投影光学系において、その光学素子群は第1の副光学素子群(L11~L28, L30)及び第2の副光学素子群(M1, M2)を備え、その第1の副光学素子群を第1光軸に沿って一体的に保持する第1鏡筒ユニット(5A)と、その第2の副光学素子群をその第1光軸と共軸の第2光軸に沿って一体的に保持する第2鏡筒ユニット(6A)とを備え、その第1の副光学素子群に関する物点と像点との間をその第1光軸に沿って1: β 1(β 1は0以外の実数)で分割する点を通り、且つその第1光軸に垂直な平面、又は該平面の近傍の面によってその第1鏡筒ユニットを保持し、その第2の副光学素子群に関する物点と像点との間をその第2光軸に沿って1: β 2(β 2は0以外の実数)で分割する点を通り、且つその第2光軸に垂直な平面、又は該平面の近傍の面によってその第2鏡筒ユニットを保持するものである。

【0018】斯かる本発明によれば、各鏡筒ユニットは互いに独立に支持されているため、組立調整が容易である。更に、その第1鏡筒ユニット(5A)、及び第2鏡筒ユニット(6A)が傾斜しても、それぞれ像シフトが殆ど生じない。従って、投影露光装置に適用した場合に、ステージ系の振動等の影響で鏡筒ユニットが変位しても、常に高い光学性能が得られる。

【0019】また、上記の本発明の各投影光学系において、その複数の鏡筒ユニットの少なくとも一つの鏡筒ユニットは、この鏡筒ユニットによって保持される所定の光学素子の状態を調整する調整機構(14, 15, 17, 20)を有することが望ましい。その所定の光学素子の状態(光軸方向の位置、光軸に垂直な平面内での2軸の方向の位置(偏心調整)、及び2軸の回りのチルト角等)を調整することによって、その投影光学系の倍率、及び収差等の所定の結像特性を補正することができる。

【0020】また、その複数の鏡筒ユニットの少なくとも一つ(5)は、更にそれぞれ一つ又は複数の光学素子を保持する複数の保持ブロック(22A~22E)を備え、この複数の保持ブロックは、それぞれ保持対象の光学素子の状態を調整する調整機構(20)を有することが望ましい。また、その複数の鏡筒ユニットの少なくとも一つは着脱可能であることが望ましい。

【0021】次に、本発明の第3の投影光学系は、複数の非球面(ASP1~ASP8)が形成された光学素子群を備え、第1面の物体の像を第2面上に形成する投影光学系であって、その光学素子群を複数組に分けて保持する複数の保持ブロック(22A~22E, 25A, 25B, 12, 46)を備え、その複数の保持ブロックの個数をその非球面の面数以上としたものである。

【0022】本発明の投影光学系の組立時には、非球面が形成された各光学素子にそれぞれ数 μ m程度の偏心が残存する場合が有り得る。このような非球面の偏心によ

8

って高次の偏心収差が発生する。そこで、その保持ブロックの個数をその非球面の面数以上として、例えば各保持ブロックを順次組み込む際に偏心調整を行うか、又は各保持ブロックに偏心調整機構を設けておくことによって、その高次の偏心収差を補正することができ、高い光学性能が得られる。

【0023】この場合、その光学素子群が、複数の反射部材(M1, M2)を有しているときに、この複数の反射部材は、それぞれ一つずつ互いに異なるその保持ブロック(12, 46)に保持されることが望ましい。反射部材の位置が設計位置からずれていると、屈折部材に比べて大きな収差が発生する。そのため、複数の反射部材を備えている場合には、各反射部材を異なる保持ブロックで保持し、例えばこれらの保持ブロックを順次組み込む際に相対位置を調整するか、又はそれらの反射部材の相対位置を微調整できる機構を備えることによって、収差を更に小さくすることができ、

【0024】また、本発明の第4の投影光学系は、光学素子群を有し、第1面(1)の物体の像を第2面(4)上に形成する投影光学系であって、その光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニット(5A, 6A)を備え、この複数の鏡筒ユニット中の少なくとも一つの鏡筒ユニット(6A)を所定の架台(11)に吊り下げて支持するものである。

【0025】このように鏡筒ユニットを吊り下げ方式で支持することによって、その鏡筒ユニット、ひいてはそれによって保持される光学素子を常に安定に支持することができ、高い光学特性を維持できる。これらの本発明の各投影光学系は、一例として波長200nm以下の照明光のもとで使用され、この場合、その投影光学系の内部にその照明光を透過するパーシガスが供給されることが望ましい。本発明の各投影光学系は、複数の鏡筒ユニット、又は複数の保持ブロックを積み重ねる(連結する)方式であるため、組立調整が容易である。更に、これらの鏡筒ユニット、及び保持ブロックは気密性の高い構造にできるため、そのパーシガスを高純度でその投影光学系の内部に供給できる。従って、照明光の照度が高くなり、露光工程で高いスループットが得られる。

【0026】この際に、各鏡筒ユニット、又は各保持ブロック内で各光学素子(屈折部材、反射部材)を保持する部材(レンズ枠等)には複数の通気孔を設けて、穴開き構造とすることが望ましい。また、例えば比較的大きい反射部材を保持する保持ブロックは、通気性の高いフレーム機構によって支持してもよい。これらの機構によって、パーシガスの淀みが無くなり、結果としてその投影光学系内での不純物(吸光物質)の残留濃度を下げることができる。

【0027】次に、本発明の第5の投影光学系は、波長200nm以下の光のもとで第1面の物体の像を第2面上に形成する投影光学系であって、その光の光路中に配

(5)

特開2002-83766

9

置される少なくとも2つの屈折部材と、その屈折部材を位置決めする少なくとも2つの保持ブロックと、その保持ブロックのうちの少なくとも1つの保持ブロックに接続されて、この内側の屈折部材の間の空間にその光を透過するパージガスを供給する配管とを備え、その保持ブロックは、複数の通気孔を有する枠部材又はフレーム機構を有するものである。斯かる投影光学系によれば、組立調整が容易であると共に、パージガスを高純度で供給することができる。

【0028】この場合、その光は、一例として波長160nm以下の光を有するものである。また、本発明の第6の投影光学系は、投影原画をワークピース上に転写するための投影露光装置に用いられる投影光学系において、その投影光学系の構成要素である複数の反射部材の全てを含む一の結像光学系と、その投影光学系の構成要素であるその反射部材を含まず、その投影光学系の構成要素である少なくとも1つの屈折部材を含む他の結像光学系と、その一の結像光学系を保持する一の鏡筒ユニットと、前記他の結像光学系を保持する他の鏡筒ユニットとを備えるものである。斯かる投影光学系によれば、全ての複数の反射部材が一つの鏡筒ユニットで保持されるため、これらの反射部材間の位置関係が安定に維持でき、高い光学性能が得られる。

【0029】次に、本発明の投影光学系の製造方法は、少なくとも一つの屈折部材及び複数の反射部材を含む光学素子群と、この光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニット(5、6)とを備えた投影光学系の製造方法であって、その複数の鏡筒ユニットの内の所定の鏡筒ユニット(5、6)を着脱可能としておき、その投影光学系として既に完成している第1の投影光学系のその所定の鏡筒ユニットの位置に調整対象の鏡筒ユニットを組み込み、その第1の投影光学系の光学特性を計測しながらその調整対象の鏡筒ユニットの調整を行う第1工程と、この第1工程で調整が行われた調整済みの鏡筒ユニットと、これ以外の鏡筒ユニットとより第2の投影光学系を組み上げ、その調整済みの鏡筒ユニットを基準としてその第2の投影光学系の調整を行う第2工程とを有するものである。

【0030】斯かる投影光学系の製造方法によれば、例えば複数の投影光学系を並列に製造する場合に、組立調整の完了した投影光学系を使用して、次の投影光学系用の鏡筒ユニットの調整を短時間に行うことができる。従って、全体としての組立調整時間を短縮することができる。また、本発明の別の投影光学系の製造方法は、少なくとも一つの屈折部材及び少なくとも一つの反射部材を含む光学素子群と、この光学素子群を複数組に分けて保持する複数の鏡筒ユニット(5A、6A)とを備えた投影光学系の製造方法であって、それらの鏡筒ユニットの内の少なくとも一つは、その中に少なくとも1個の光学素子を持つと共に、その鏡筒ユニットに対する相対位

10

置を調整する第1機構(17、20)を備えた保持ブロック(44A~44E)を備えており、それらの鏡筒ユニットの内の少なくとも一つ(5A)は全体としての状態を調整できる第2機構(15、17)を備えており、その第2機構を用いて複数の鏡筒ユニット間の調整を行った後、残存する収差をその第1機構を用いて除去するものである。

【0031】このように調整を行うことで、大きな収差から、小さい収差の微調整まで対応することができ、設計性能とほぼ等しい光学特性を持つ投影光学系を製造することができる。次に、本発明の投影露光装置は、上記の本発明の投影光学系を備え、この投影光学系を介して第1物体(R)のパターンの像を第2物体(W)上に投影するものである。本発明の投影光学系の使用によって、装置全体の組立調整が容易になり製造コストを低減することができる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態につき図2~図4を参照して説明する。本例は、露光光(照明光)としてF、レーザ(中心波長157.6nm)を使用すると共に、2つのそれぞれ光軸近傍に開口が形成された反射鏡を備えた反射屈折型で直筒型の投影光学系に本発明を適用したものである。

【0033】図2は、本例の投影光学系のレンズ構成図であり、この図2において、物体面1(第1面)に配置される物体の像が本例の投影光学系によって像面4(第2面)上に所定の投影倍率 β で形成される。本例の投影倍率 β は1/4倍であり、露光時には、物体面1にマスクとしてのレチクルRのパターン面が配置され、像面4には被露光基板(感光性基板)としてのウエハW(又はガラスプレート等)の表面が配置される。

【0034】本例の投影光学系は、レチクルのパターンの一次像(中間像)3を形成するための第1結像光学系K1と、一次像からの光に基づいてレチクルパターンの二次像(最終像)を縮小倍率でウエハ上に形成するための第2結像光学系K2とから構成されている。第1結像光学系K1は、レチクル側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、開口絞りASと、正の屈折力を有する第2レンズ群G2とから構成されている。また、開口絞りASの設置面の近傍で、光軸AXの方向に開口絞りASの設置面とは異なる位置に、光軸AX近傍の光を遮光する中心遮光部材2が配置されている。

【0035】第2結像光学系K2は、レチクル側から順に、ウエハ側に凹面を向けた表面反射面を有し且つ中央に開口部(光透過部)7を有する主鏡M1と、レンズL2と、中央に開口部(光透過部)8を有する反射面を備えた副鏡M2とから構成されている。また、本例の投影光学系は、8枚の非球面を有しており、レンズ面の内のレチクル側からm番目($m=1, 2, \dots$)の非球面に符号ASP_mを付している。

(7)

特開2002-83766

11

【0036】そして、第1レンズ群G1は、レチクル側から順に、レチクル側に凸の非球面ASP1を向けたメニスカス形状のレンズL11と、レチクル側に凸の非球面ASP2を向けたメニスカス形状のレンズL12と、ウエハ側に凹の非球面ASP3を向けたメニスカス形状のレンズL13とから構成されている。また、第2レンズ群G2は、レチクル側から順に、レチクル側に凹の非球面ASP4を向けた凹形状のレンズL21と、レチクル側に凸の非球面ASP5を向けた凸形状のレンズL22と、ウエハ側に凸の非球面ASP6を向けたメニスカス形状のレンズL23と、ウエハ側に凹の非球面ASP7を向けたメニスカス形状のレンズL24とから構成されている。更に、第2結像光学系K2中のレンズL25は、レチクル側に凹の非球面ASP8を向けたメニスカス形状のレンズである。

【0037】本例の投影光学系を構成するすべての光学要素(G1, G2, M1, M2, L2)は単一の光軸AXに沿って配置されている。また、主鏡M1は一次像3の形成位置の近傍に配置され、副鏡M2はウエハに近接して配置されている。こうして、図2の投影光学系で、第1結像光学系K1を介して、レチクルパターンからの光が、第1結像光学系K1を介して、レチクルパターンの一次像(中間像)3*

$$Z = (y^4/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^6 + B \cdot y^8 + C \cdot y^{10} + D \cdot y^{12} + E \cdot y^{14} + F \cdot y^{16} \dots (1)$$

【0040】以下の表1に、本例の投影光学系の諸元の値を掲げる。表1において、λは露光光の中心波長を、βは投影倍率を、NAは像側開口数を、φはウエハ上でのイメージサークルの直径をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるレチクル面から像面であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、rは各面の曲率半径(mm:非球面の場合には頂点での曲率半径)を、dは各面の軸上間隔である面間隔(mm)を、光学材料中のCaF₂は蛍石をそれぞれ示している。

《表1》

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm} \pm 10 \text{ pm}$$

$$\beta = 0.2500$$

$$NA = 0.75$$

$$\phi = 16.4 \text{ mm}$$

$$\text{レチクル面から第1面までの間隔} = 201.4588 \text{ mm}$$

面番号	r	d	光学材料
1(ASP1)	199.4802	23.6189	CaF ₂
2	1933.2675	269.2901	
3(ASP2)	248.9463	38.4449	CaF ₂
4	1002.9474	19.1120	
5	109.3351	28.6306	CaF ₂
6(ASP3)	143.4010	21.0000	
7(AS)	∞	35.4787	
8(ASP4)	-1979.6492	27.8589	CaF ₂

12

*を形成する。一次像3からの光は、主鏡M1の中央の開口部7及びレンズL2を介して副鏡M2で反射され、副鏡M2で反射された光はレンズL2を介して主鏡M1で反射される。主鏡M1で反射された光は、レンズL2及び副鏡M2の中央の開口部8を介してウエハWの表面にレチクルパターンの二次像を縮小倍率で形成する。

【0038】図2の投影光学系を構成する全ての屈折光学部材(レンズ成分)には蛍石(CaF₂, 結晶)を使用している。また、露光光であるF、レーザー光の発振中心波長は157.6nmであり、発振波長幅は157.6nm±10pm程度に狭帯化されており、所定の基準となる状態(例えば大気圧が1気圧、露光開始直後で投影光学系を通過した積算エネルギーがほぼ0の状態)ではその波長範囲内で諸収差が良好に補正されている。中心波長157.6nmに対するCaF₂の屈折率は1.5600000である。

【0039】また、本例の投影光学系で使用される非球面の形状は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)をZとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数をκとし、n次の非球面係数をA~Fとしたとき、以下の数式で表される。

※【0041】また、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。従って、面間隔dの符号は、副鏡M2から主鏡M1までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光線の入射方向にかかわらずレチクル側に向かって凸面の曲率半径rを正とし、凹面の曲率半径rを負としている。なお、以下すべての実施の形態において、この第1の実施の形態と同様の符号を用いる。

【0042】

(8)

特開2002-83766

13

14

9	215.9777	13.6424	
10(ASP5)	838.3987	20.3225	CaF ₂
11	-252.7298	143.5573	
12	-475.0282	25.5347	CaF ₂
13(ASP6)	-98.4914	12.5880	
14	174.9476	50.0000	CaF ₂
15(ASP7)	249.0939	370.2800	
16(ASP8)	-965.4467	42.8265	CaF ₂
17	-8820.5445	-42.8265	CaF ₂
18(ASP8)	-965.4467	-223.7172	
19	346.8643	223.7172	
20(ASP8)	-965.4467	42.8265	CaF ₂
21	-8820.5445	10.0000	

(非球面データ)

ASP1

ASP2

ASP3

$$\kappa = 0.00000$$

$$\kappa = 0.00000$$

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -9.61173 \times 10^{-9}$$

$$A = -1.55615 \times 10^{-7}$$

$$A = -1.49247 \times 10^{-7}$$

$$B = -2.14569 \times 10^{-11}$$

$$B = -4.68023 \times 10^{-14}$$

$$B = 2.48237 \times 10^{-14}$$

$$C = 7.59160 \times 10^{-18}$$

$$C = 3.66473 \times 10^{-14}$$

$$C = 1.10343 \times 10^{-11}$$

$$D = -5.90665 \times 10^{-14}$$

$$D = 2.76851 \times 10^{-11}$$

$$D = -6.65598 \times 10^{-10}$$

$$E = 0.0$$

$$E = 4.46701 \times 10^{-11}$$

$$E = -2.15738 \times 10^{-11}$$

$$F = 0.0$$

$$F = 0.0$$

$$F = 0.0$$

ASP4

ASP5

ASP6

$$\kappa = 0.00000$$

$$\kappa = 0.00000$$

$$\kappa = 0.00000$$

$$A = -9.40388 \times 10^{-9}$$

$$A = 1.88036 \times 10^{-9}$$

$$A = 1.67077 \times 10^{-7}$$

$$B = -4.01544 \times 10^{-14}$$

$$B = -1.59516 \times 10^{-14}$$

$$B = -2.42295 \times 10^{-14}$$

$$C = -6.89483 \times 10^{-17}$$

$$C = -3.15148 \times 10^{-16}$$

$$C = 1.58927 \times 10^{-11}$$

$$D = 1.70469 \times 10^{-10}$$

$$D = -2.20945 \times 10^{-10}$$

$$D = -1.11815 \times 10^{-19}$$

$$E = -6.15241 \times 10^{-14}$$

$$E = 0.0$$

$$E = 1.37831 \times 10^{-11}$$

$$F = 0.0$$

$$F = 0.0$$

$$F = 0.0$$

ASP7

ASP8

$$\kappa = 0.00000$$

$$\kappa = 17.06579$$

$$A = -1.42562 \times 10^{-7}$$

$$A = 7.65400 \times 10^{-9}$$

$$B = 2.11000 \times 10^{-11}$$

$$B = -7.96595 \times 10^{-11}$$

$$C = -3.82147 \times 10^{-11}$$

$$C = -8.95740 \times 10^{-19}$$

$$D = 2.44894 \times 10^{-19}$$

$$D = 6.26276 \times 10^{-11}$$

$$E = 0.0$$

$$E = -1.26805 \times 10^{-17}$$

$$F = 0.0$$

$$F = 1.50073 \times 10^{-14}$$

【0043】以上のように、図2の反射屈折型の投影光学系では、中心波長が157.6nmのF、レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で16.4mmのイメージサークルを確保することができる。従って、図2の投影光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、図2の投影光学系をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用し、ウエハ上での露光領域をたとえば15mm×6mmの矩形状に設定し、2回のスキャン露光による縦ぎ露光を行うことにより30mm×40mmの領域にレチクルパターンを転写

することができる。

【0044】次に、図2の投影光学系を投影露光装置に適用した場合の露光の構成につき説明する。図3は、図2の投影光学系を投影露光装置に搭載した場合の要部を示す断面図であり、この図3において、レンズL11～レンズL24までの第1結像光学系K1が複数の分割鏡筒の集合体である第1バレル5によって保持され、主鏡M1、レンズL2、及び副鏡M2よりなる第2結像光学系K2が複数の分割鏡筒の集合体である第2バレル6によって保持されている。バレル5、6が本発明の複数個の鏡筒ユニットに対応し、バレル5、6を構成する複数個の分割鏡筒が本発明の保持ブロックに対応している。

(9)

特開2002-83766

15

また、バレル5、6は投影露光装置の架台としての支持板11に対して着脱自在に取り付けられている。

【0045】先ず、第2バレル6は、レチクル側から2つの分割鏡筒12及び46を3箇所以上でボルト23によって光軸方向に連結して構成されると共に、投影露光装置の支持板11の中央部に設けられた十字型の開口部に搭載され、上側の分割鏡筒12のフランジ部がその支持板11にボルトを介して固定されている。そして、分割鏡筒12内に3箇所のV字型のフレーム機構13及び光軸方向に伸縮自在の上下方向駆動素子14を介して主鏡M1が吊り下げられるように保持され、下側の分割鏡筒46内に3箇所の上下方向駆動素子15、一つのレンズ枠16、及び1組の偏心方向駆動素子17を介してレンズL2及び副鏡M2が保持されている。上下方向駆動素子14、15としては、例えば電動式のマイクロメータ、圧電素子（ピエゾ素子等）、又は小型モータ等が使用できる。3箇所の上下方向駆動素子14、15の駆動量を制御することによって、光学素子（主鏡M1、レンズL2、副鏡M2）の光軸AX方向の位置、及び直交する2軸の回りのチルト角を調整することができる。

【0046】一方、1組の偏心方向駆動素子17は、光軸AXに垂直な平面内の直交する2軸に沿って保持対象の光学素子を変位させる電動式のマイクロメータ、圧電素子（ピエゾ素子等）、又は小型モータ等の2つの駆動部と、これらの駆動部に対してその光学素子を押し付けるコイルばね等の2つの付勢部とから構成されている。従って、偏心方向駆動素子17の2つの駆動部の駆動量を制御することによって、その光学素子の直交する2軸に沿った偏心量を調整することができる。なお、図3の断面図（以下の実施の形態の断面図も同様である）は、上下方向駆動素子（14、15等）及びボルト23に関しては光軸AXを中心として120°の開き角を有する面に沿った断面を表し、偏心方向駆動素子17に関しては、通常の縦断面を表している。

【0047】次に、第1バレル5は、レチクル側から順にレンズL11を保持する能動型分割鏡筒22Aと、スペーサ用鏡筒24と、レンズL12を保持する能動型分割鏡筒22Bと、レンズL13、開口絞りAS、及び中心遮蔽部材2を保持する分割鏡筒25Aと、レンズL21を保持する分割鏡筒25Bと、レンズL22を保持する能動型分割鏡筒22Cと、レンズL23を保持する能動型分割鏡筒22Dと、レンズL24を保持する能動型分割鏡筒22Eとを、それぞれ3箇所以上の位置でボルト23によって光軸方向に連結して構成されると共に、最下段の能動型分割鏡筒22Eのフランジ部が、第2バレル6の分割鏡筒12の上面にボルトによって固定されている。

【0048】そして、5箇の能動型分割鏡筒22A～22Eは、それぞれ外筒18に対して3箇所の位置で回転自在の継ぎ手19、及び上下方向駆動素子20を介して

16

レンズ枠21を配置して構成され、そのレンズ枠21内に光学素子（レンズL11～L24）が保持されている。上下方向駆動素子20の構成は上下方向駆動素子14、15と同様であり、5箇の能動型分割鏡筒22A～22Eは、それぞれ内部のレンズL11～L24の光軸AX方向の位置、及び直交する2軸の回りのチルト角を調整することができる。

【0049】図4（a）は図3のAA線に沿う断面図であり、この図4（a）において、図3の上下方向駆動素子20は、光軸AXを中心として等角度間隔で配置された3箇所の位置20A～20Cに配置されている。また、能動型分割鏡筒22Aの外筒18とその下のスペーサ用鏡筒24との連結を行うボルト23は、外筒18の外周部に設けられた3箇所の切り欠き部18a中に配置されている。例えば2つの分割鏡筒を外側に突き出たフランジ部をボルトで締め付けることによって連結する方式と比べて、本例のように外筒18の切り欠き部にボルトを収納する方式を用いることで、分割鏡筒22A等を少ない材料から形成することができ、製造コストを低減できる。なお、隣接する分割鏡筒間の密閉度を高めて内部のバージガスの純度を高く維持するために、各分割鏡筒間の溝部（不図示）にはそれぞれOリング（不図示）が配置されている。更に、隣接する分割鏡筒間の密閉度を高めるために、ボルト23は、3箇所以上、例えば12箇所程度の位置に配置してもよい。また、図4（a）のBB線に沿う断面図が、図3の第1バレル5の断面図に対応している。

【0050】図4（b）は、図3の継ぎ手19及び上下方向駆動素子20を示す拡大斜視図であり、この図4（b）において、継ぎ手19は、受け皿32と、受け皿32に対して回転自在に接触している突部31と、受け皿32と突部31とを連結するピン33とから構成され、突部31に上下方向駆動素子20の端部が連結されている。このように継ぎ手19は、1軸の回りに回転できる構成であるが、2軸の回りに回転できるように構成してもよい。

【0051】図3に戻り、能動型分割鏡筒22A～22Eの上下方向駆動素子20、並びに第2バレル6中の上下方向駆動素子14、及び偏心方向駆動素子17の駆動量は結像特性制御系27によって制御される。この際に、各駆動素子20、14、17にはそれぞれ駆動量を検出するセンサ（ロータリエンコーダ、静電容量式又は光学式のギャップセンサ等）が組み込まれており、結像特性制御系27はそれらのセンサの検出結果をフィードバックしながら、対応する駆動素子20、14、17の駆動量を制御する。

【0052】結像特性制御系27の動作は投影露光装置の装置全体の動作を統轄制御する主制御系26によって制御されており、主制御系26には、本例の投影露光装置の周囲の気圧（大気圧）を計測する気圧計、周囲の湿

(10)

特開2002-83766

17

度を計測する温度計、及び湿度計等のセンサを備えた環境センサ28からの計測データが所定のサンプリングレートで供給されている。更に、本例の投影露光装置には、例えば照明光学系中で露光光から分岐した光の照度（パルスエネルギー）をモニタすることによって、投影光学系を通過する露光光（照明光）の積算エネルギーを間接的に求める露光量制御系29も備えられており、露光量制御系29からの積算エネルギーの情報も主制御系26に供給されている。周囲の大気圧、及び積算エネルギーが変化すると、投影光学系のベストフォーカス位置、投影倍率、及び諸収差（ディストーション、非点収差、像面湾曲、球面収差、コマ収差等）等の結像特性が次第に変動するため、主制御系26の記憶部には、予め大気圧や積算エネルギー等と投影倍率等の結像特性の変動量との関係がテーブルとして記憶されている。そして、大気圧等の計測値が変動するか、又は積算エネルギーが次第に増大した場合に、主制御系26は結像特性制御系27及び上下方向駆動素子20を介して対応する結像特性の変動量を相殺するように、5個のレンズL11～L24を駆動する。なお、ベストフォーカス位置の変動に対しては、ウエハWのフォーカス位置を制御して対処してもよい。また、必要に応じて更に上下方向駆動素子14、15及び偏心方向駆動素子17を介して主鏡M1及びレンズL2（副鏡M2）を駆動してもよい。

【0053】また、本例の露光光（照明光）は、F、レーザ（中心波長157.6nm）であるため、その露光光の光路には真空紫外域の光に対しても高い透過率の得られるパージガスが高純度で供給されている。パージガスとしては、窒素ガス、又は希ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン）等の化学的に不活性な気体を使用できる。窒素ガスは、波長150nm程度までは比較的高い透過率が得られると共に安価であるが、波長が150nm程度以下になると吸収が大きくなる。また、ヘリウムガスは高価であるが、波長100nm程度まで比較的高い透過率が得られる。更に、ヘリウムガスは、熱伝導率が高くて（ネオンの3倍程度、かつ窒素ガスの6倍程度）、温度安定性に優れ、気圧の変化に対する屈折率の変動量が小さい（ネオンの1/2程度、かつ窒素ガスの1/8程度）という利点がある。そこで、本例ではパージガスとしてヘリウムガスを使用するものとする。

【0054】そのため、図3において、第1バレル5のスペーサ用鏡筒24に外部のパージガスの供給装置（不図示）からバルブV5付きの給気管が接続され、その給気管から投影光学系の内部に温度制御された高純度のパージガスが供給されている。そして、第2バレル6の分割鏡筒12にその供給装置に通じるバルブV15付きの排気管が接続され、投影光学系中を流れたパージガスがその排気管を介してその供給装置に戻されている。その供給装置では、戻されたパージガスから不純物を除去し

18

た後、外部に漏れた量を補充して得られるパージガスを再びその給気管を介して投影光学系内に供給している。

【0055】この場合、給気管よりも下方のレンズL12～L24をそれぞれ駆動する3個の上下方向駆動素子20の間の空間は、パージガスが流通できると共に、能動型分割鏡筒22B～22E内でレンズを保持するレンズ枠21、及び分割鏡筒25A、25Bのレンズ枠には、ほぼ等角度間隔で多数の開口が形成されており、パージガスは第1バレル5内を淀みなく第2バレル6内に向けて流れることができる。更に、第1バレル5内の最上段のレンズL11のレンズ枠21と外筒18との間には、パージガスの漏れを防止するために、一例として蛇腹状の気密性の高い被覆部材9が設けられている。

【0056】また、第2バレル6内に流入したパージガスは、フレーム機構13の間の空間、主鏡M1の外周側の隙間、及び主鏡M1の中央の開口を通過してレンズL2の上部に至り、ここからバルブV15付きの排気管を介して排気される。この際に本例ではウエハWが収納されている気密室（ウエハステージ系が収納されている気密室）にも高純度のパージガスが供給されているため、第2バレル6内のパージガスが最下端のレンズL2の周囲からウエハW側に或る程度漏れ出ても差し支えない。但し、レンズL2の周囲からウエハW側へのパージガスの流出を防止したい場合には、レンズL2の周囲と分割鏡筒46との間を密閉するように被覆部材を設けることが望ましい。

【0057】上記のように本例の投影光学系によれば、一次像（中間像）3を挟んで第1結像光学系K1、及び第2結像光学系K2が配置されており、第1結像光学系K1の光学素子の外径と、第2結像光学系K2の光学素子の外径とが大きく異なっている。そこで、一次像3を挟んで、第1結像光学系K1を第1バレル5で保持して、第2結像光学系K2を第2バレル6で保持する構成とすることによって、投影光学系を構成する全部の光学素子を機械的に保持し易くなっている。

【0058】また、反射屈折光学系の各光学素子について考えると、屈折部材より、反射部材の方が所定位置からずれた場合の収差の発生量が遥かに大きくなる。これは、屈折率が屈折部材では0.5前後なのに対し、反射部材では2になるため、位置がずれた場合の屈折率の変化量は、スネルの法則によって屈折部材に対して反射部材では4倍前後になるためである。一方、個々のバレル5、6は組み立てが完成しても様々な原因で、お互いの位置関係は微妙に変わると考えられる。しかし、各バレル5、6内の光学素子の相対位置は、互いに結びついて保持されているのであまり変わらないと予想される。

【0059】以上のことから、本例のように全ての反射部材（M1、M2）を1個のバレル6内に配置した構成では、仮にそのバレル6が変位した場合でも、その反射部材を含むバレル6を基準に他のバレル5が変位したと

(11)

特開2002-83766

19

考えれば、実質的に屈折部材のみが動いたことになり、その反射部材を、複数個のパレルに別々に分配した場合に比べて収差の発生量が少なくなる利点がある。

【0060】なお、一般的に反射屈折系で反射面の能力を十分活用するためには、反射面の有効径を十分大きくする必要があり、それに対して屈折部材は、素材径を小さくした方が製造が容易である。これに対処するためには、中間像を作って比較的光束を小さくして、その前後に、屈折部材のみのレンズ群と、反射部材を主な光学要素とするレンズ群を配することが有効である。このように考えると、本例の投影光学系に限らず殆どの中間像を作る反射屈折型の投影光学系において、中間像を作るレンズ群を単位にパレルを構成していけば、各パレル内での光学素子の外径は比較的揃っていて、機械的に保持し易いと共に、中間像の前後で反射部材と屈折部材とが分けられているので、収差の発生量を低くできる。

【0061】続いて、図3の投影光学系の調整能力について説明する。本例の投影光学系には、8面の非球面が含まれており、それらの面は、製造の際に、レンズの光軸に対して、数 μm 程度ずれる恐れがある。このため、たとえレンズの光軸中心を基準に全部のレンズを組み立てたとしても、非球面がずれたことによる高次の偏心収差が発生する恐れがある。これに対処するためには、少なくとも非球面の数と同じか、あるいはそれ以上の数の部材に、偏心調整能力を持たせることが望ましい。

【0062】また、上述のように反射部材が設計位置からずれていると大きな収差が発生する。そのため、本例のように2個以上の反射部材(M1、M2)を含んでいる場合には、必ず一方の反射部材に対して他方の反射部材を調整する必要がある。このため、本例でも、分割鏡筒12、46で示すように一つの保持ブロックには1個の反射部材しか含まないようにしている。

【0063】続いて、この投影光学系の製造手順の一例につき説明する。本例の投影光学系では通常は反射部材によって発生している収差が大きいと考えられる。しかし、最初に投影光学系の収差を測った結果、大きい収差が発生していることが分かっても、その収差がどこで発生しているのか特定できない場合も多い。このような場合の対策として、予め完成している同じ設計の投影光学系があれば、その完成済みの投影光学系とこれから製造する投影光学系とで1個のパレルのみを交換する方法が考えられる。本例では、反射部材を保持する第2パレル6を完成済みの投影光学系の第2パレルと交換し、その投影光学系の光学像を観測しながら、第2パレル6内の分割鏡筒12、46を並進あるいはチルトさせて調整する。この場合、もともと完成している投影光学系に対して第2パレルのみを交換したわけであり、光学像を観測したときに発生している収差はすべて交換した第2パレル6により発生している。よって、光学像を観測しながら第2パレル6を調整してやれば、第2パレル6をほぼ

20

理想位置に近い状態に調整できる。その後、調整済みの第2パレル6と第1パレル5とを合わせて調整するが、この際には第1パレル5のみを調整すればよいので、投影光学系全体の調整を短時間に行うことができる。

【0064】以上のような調整を行えば、光学像は次第に設計値に近づいていく。しかし、その場合でも各分割鏡筒(保持ブロック)間の調整を、投影光学系を一度支持板11から降ろした状態で行う場合には、光学像を見ながらリアルタイムに調整することが出来ないために、各分割鏡筒の調整公差により収差が残存する恐れがある。この残存収差を除去するため、更に大気圧変動等による収差を補正するために、図3の投影光学系では、5個のレンズL11、L12、L22～L24が外部からの制御によって、光軸に沿った上下移動とチルトとができるように構成されている。制御できる光学素子が5個であるのは、3次の光軸方向の収差と、偏心収差とを補正するのに十分な数だからである。この調整機構は第1パレル5に全て含まれている。なぜなら、第2パレル6は反射部材(レンズL2も裏面反射鏡とみなしている)のみで構成されており、反射部材では収差の発生が大きすぎて微調整には向かないからである。この調整機構を使うことで最後に残った収差を除去することができ、最終的に設計値とほぼ同性能の投影光学系を製造できると共に、結像特性を理想状態に維持することができる。

【0065】また、主鏡M1は、フレーム機構13により保持されている。フレーム構造にすることにより、反射鏡の保持部材が鏡筒内部の雰囲気や分割しない。これにより、鏡筒内部を例えばヘリウム等の不活性ガスで置換する際に、残留(滞留)ガスを生じさせることなく素早く置換することが可能である。更に、フレーム構造にすることにより、反射鏡の保持部材の軽量化が可能である。

【0066】[第2の実施の形態] 次に、本発明の第2の実施の形態の投影光学系につき図1、図5～図7を参照して説明する。本例も、露光光としてF、レーザ(中心波長157.6nm)を使用すると共に、2つのそれぞれ光軸近傍に開口が形成された反射鏡を備えた反射屈折型で直筒型の投影光学系に本発明を適用したものであり、図5～図7において、図2、図3に対応する部分には同一又は類似の符号を付してその詳細説明を省略する。

【0067】先ず図1は、この第2の実施の形態の投影光学系の概念図であり、この図1において、本例の投影光学系は第1結像光学系K1と第2結像光学系K2とから構成され、光軸AX上の位置Aの高さYの位置にある物点APからの光が第1結像光学系K1を介して位置Bの高さ $\beta_1 \cdot Y$ (β_1 は1以外の実数)の位置に一次像(中間像)BPを形成し、一次像BPからの光が第2結像光学系K2を介して位置Cの高さ $\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot Y$ (β_2 は1以外の実数)の位置に像点CPを形成する。この

(12)

特開2002-83766

21

際に、投影光学系全体の投影倍率を β とすると、 $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ が成立している。また、第2結像光学系K2は反射部材を含んでいるものとする。

【0068】図1において、結像光学系K1及びK2はそれぞれ互いに独立に第1パレル5A及び第2パレル6Aによって機械的に一体で保持されている。この場合、パレル5A、6Aを保持するのに最適な点を考えてみると、結像性能を常に高く維持するためには、パレル5A、6Bが傾斜したときでも像シフトが起きない点が好ましい。そのような点は、例えば第1結像光学系K1が位置A、Bについて $-\beta_1$ 倍($\beta_1 > 0$)で作用する場合、位置Aと位置Bとの間を $1 : \beta_1$ に内分する点P1である。何故なら、図1で位置Aと点P1との間隔をL1として、第1結像光学系K1が角度 θ だけ傾斜したとき、もともと位置Aにある点は傾斜した光学系の光軸に対してL1・ θ の高さにあるので、これが結像する点は傾斜した光軸に対して $-\beta_1 \cdot L1 \cdot \theta$ の高さの点になるが、これは元の光軸上の位置Bにある点に過ぎない。同様に、もともと所定の像高を持つ点についても、光学系が傾斜してもディストーションを除けば像シフトは起きない。よって、点P1を通り光軸AXに垂直な面内でパレル5Aを保持すれば、パレル5Aが傾斜してもほとんど像シフトが起きなくなる。同様に、位置Bから位置Cに対して結像させる第2結像光学系K2の倍率が β_2 である場合、位置Bと位置Cとの間を $1 : \beta_2$ で内分する点P2で光軸AXに垂直な面内でパレル6Aを保持してやれば良い。

【0069】図5は、この第2の実施の形態の投影光学系のレンズ構成図であり、この図5において、物体面1に配置されるレチクルRのパターンを通過した露光光(照明光)11が、第1結像光学系K1を介して一次像(中間像)3を形成し、一次像3からの光が第2結像光学系K2を介して像面4に配置されるウエハWの表面にレチクルパターンの二次像(最終像)を縮小倍率で形成する。

【0070】第1結像光学系K1は、レチクル側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、開口絞りASと、正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、負の屈折力を持つ両凸形状のレンズL30とから構成されている。また、開口絞りASの設置面の近傍で、光軸AXの方向に開口絞りASの設置面とは異なる位置に、光軸AX近傍の光を遮光する中心遮蔽部材2が配置されている。

【0071】第2結像光学系K2は、レチクル側から順に

《表2》

(主要諸元)

$\lambda = 157.624 \text{ nm} \pm 1 \text{ pm}$

$\beta = 0.2500$

NA = 0.75

$\phi = 16.4 \text{ mm}$

22

*に、ウエハ側に凹面を向けた表面反射面を有し且つ中央に開口部(光透過部)7を有する主鏡M1と、レチクル側に凹面を向けた表面反射面を有し且つ中央に開口部(光透過部)8を有する副鏡M2とから構成されている。また、本例の投影光学系は、8枚の非球面ASP1～ASP8を有している。

【0072】そして、第1レンズ群G1は、レチクル側から順に、ウエハ側に凸の非球面ASP1を向けたメニスカス形状のレンズL11と、レチクル側に凹面を向けたメニスカス形状のレンズL12と、ウエハ側に凸の非球面ASP2を向けたメニスカス形状のレンズL13と、レチクル側に凹の非球面ASP4を向けたメニスカス形状のレンズL14と、両凸形状のレンズL15とから構成されている。また、第2レンズ群G2は、レチクル側から順に、レチクル側に凸の非球面ASP4を向けた両凸形状のレンズL21と、レチクル側に凹面を向けたメニスカス形状のレンズL22と、レチクル側に凸の非球面ASP5を向けたメニスカス形状のレンズL23と、レチクル側に凸の非球面ASP6を向けた両凸形状のレンズL24と、ウエハ側に凹の非球面ASP7を向けたメニスカス形状のレンズL25と、両凸形状のレンズL26と、レチクル側に凸の非球面ASP8を向けた両凸形状のレンズL27と、両凸形状のレンズL28とから構成されている。

【0073】こうして、図5の投影光学系では、レチクルRのパターンからの光が、第1結像光学系K1を介して、レチクルパターンの一次像(中間像)3を形成する。一次像3からの光は、主鏡M1中央の開口部7を介して副鏡M2で反射された後、主鏡M1で反射される。主鏡M1で反射された光は、副鏡M2の中央の開口部8を介してウエハWの表面にレチクルパターンの二次像を縮小倍率で形成する。

【0074】図5の投影光学系を構成する全ての屈折光学部材(レンズ成分)には蛍石(CaF₂、結晶)を使用している。また、露光光であるF、レーザー光の発振中心波長は157.624nmであり、発振波長幅は157.624nm \pm 1pm程度に狭帯化されており、中心波長157.624nmに対するCaF₂の屈折率は1.559238である。更に本例の投影光学系で使用される非球面の形状は、(1)式で表される。以下の表2に、表1に対応させて本例の投影光学系の諸元の値を掲げる。

【0075】

(13)

特開2002-83766

23

24

レチクル面から第1面までの間隔=97.4647mm

面番号	r	d	光学材料
1	-133.8316	35.0000	CaF ₂
2(ASP1)	-116.4714	1.0000	
3	-554.1774	20.5256	CaF ₂
4	-213.7250	25.1023	
5	-261.9616	20.0289	CaF ₂
6(ASP2)	-168.6391	20.3246	
7(ASP3)	-96.4098	25.0000	CaF ₂
8	-163.9518	5.8731	
9	782.1145	40.0000	CaF ₂
10	-194.0414	1.1373	
11(AS)	∞	20.6498	
12(ASP4)	104.9826	24.2585	CaF ₂
13	-1294.5816	10.7993	
14	-152.5389	20.0000	CaF ₂
15	-858.7147	38.4039	
16(ASP5)	798.2520	20.1464	CaF ₂
17	198.7615	4.1296	
18(ASP6)	261.7539	29.0815	CaF ₂
19	-501.0834	63.3677	
20	3299.4456	30.0000	CaF ₂
21(ASP7)	360.6533	39.6971	
22	1401.8392	34.4568	CaF ₂
23	-170.8148	5.9831	
24(ASP8)	266.5085	24.4029	CaF ₂
25	-370.3218	38.2791	
26	255.6101	39.9997	CaF ₂
27	-1343.1549	49.5384	
28	-142.9084	21.2041	CaF ₂
29	112.3957	14.2675	
30	427.9297	284.4437	(仮想面)
31(M2)	-3734.1426	-284.4437	
32(M1)	427.9297	284.4437	
33	-3734.1426	13.3911	(仮想面)

(非球面データ)

ASP 1	ASP 2	ASP 3
$\kappa = 0.0000$	$\kappa = 0.0000$	$\kappa = 0.0000$
$A = 7.4338 \times 10^{-9}$	$A = -3.1895 \times 10^{-9}$	$A = -1.8862 \times 10^{-7}$
$B = 1.4821 \times 10^{-14}$	$B = 1.5252 \times 10^{-14}$	$B = -2.5593 \times 10^{-14}$
$C = 2.8340 \times 10^{-10}$	$C = -1.5642 \times 10^{-10}$	$C = -1.2889 \times 10^{-11}$
$D = 1.0465 \times 10^{-11}$	$D = 1.0493 \times 10^{-10}$	$D = 1.3308 \times 10^{-19}$
$E = 2.3982 \times 10^{-14}$	$E = -7.2790 \times 10^{-11}$	$E = 2.2662 \times 10^{-11}$
$F = 0.0$	$F = 0.0$	$F = 0.0$
ASP 4	ASP 5	ASP 6
$\kappa = 0.0000$	$\kappa = 0.0000$	$\kappa = 0.0000$
$A = -1.7279 \times 10^{-7}$	$A = -7.8055 \times 10^{-9}$	$A = 1.4844 \times 10^{-7}$
$B = -2.6931 \times 10^{-11}$	$B = 2.4611 \times 10^{-11}$	$B = -1.7927 \times 10^{-11}$
$C = -2.7058 \times 10^{-11}$	$C = -3.3373 \times 10^{-11}$	$C = 3.0001 \times 10^{-11}$
$D = -2.7673 \times 10^{-19}$	$D = -5.8685 \times 10^{-19}$	$D = 3.4128 \times 10^{-19}$

(14)

特開2002-83766

25

$$\begin{array}{lll}
 E = -8.2067 \times 10^{-11} & E = 6.5684 \times 10^{-11} & E = -7.3746 \times 10^{-11} \\
 F = 0.0 & F = 0.0 & F = 0.0 \\
 \text{ASP 7} & \text{ASP 8} & \\
 \kappa = 0.0000 & \kappa = 0.0000 & \\
 A = 9.0882 \times 10^{-9} & A = 1.3982 \times 10^{-9} & \\
 B = -1.6366 \times 10^{-14} & B = 2.9315 \times 10^{-11} & \\
 C = 1.4369 \times 10^{-10} & C = 8.0049 \times 10^{-17} & \\
 D = -9.1173 \times 10^{-10} & D = -2.5823 \times 10^{-10} & \\
 E = 4.3321 \times 10^{-14} & E = 1.2241 \times 10^{-14} & \\
 F = 0.0 & F = 0.0 &
 \end{array}$$

26

【0076】以上のように、図5の反射屈折型の投影光学系では、F₂ レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で16.4mmのイメージサークルを確保することができる。次に、図5の投影光学系を投影露光装置に適用した場合の鏡筒の構成につき説明する。

【0077】図6は、図5の投影光学系を投影露光装置に搭載した場合の要部を示す断面図であり、この図6において、レンズL11～L28、及びレンズL30までの第1結像光学系K1が複数の分割鏡筒（保持ブロック）の集合体である第1バレル5A（鏡筒ユニット）によって保持され、主鏡M1、及び副鏡M2よりなる第2結像光学系K2が複数の分割鏡筒（保持ブロック）の集合体である第2バレル6A（鏡筒ユニット）によって保持されている。バレル5Aは投影露光装置の支持板11の上面に着脱自在に取り付けられており、バレル6Aはその支持板11の底面に吊り下げる方式で着脱自在に取り付けられている。

【0078】まず、第2バレル6Aは、レチクル側から2つの分割鏡筒37及び36を3箇所の上下方向駆動素子15を介して連結して構成されている。そして、分割鏡筒36のフランジ部が偏心方向駆動素子17を介してリング状の支持部材35Bで支持され、支持部材35Bは、支持板11に設けられた開口部の周囲の底面に固定された3個のV字型の支持部材34Bに継ぎ手19及び上下方向駆動素子14を介して吊り下げるように支持されている。更に、分割鏡筒37内に偏心方向駆動素子17を介して主鏡M1が保持され、分割鏡筒36内に3箇所の継ぎ手19及び上下方向駆動素子15を介してレンズ枠38が保持され、レンズ枠38によって副鏡M2が保持されている。この構成によって、第2バレル6A全体としての支持板11に対する光軸AX方向の位置、2軸の回りのチルト角、及び光軸AXに垂直な面内の2方向へのシフトの制御（以下、「5自由度の変位の制御」という）を行うことができる。更に、主鏡M1の第2バレル6Aに対する5自由度の変位の制御を行うことができると共に、副鏡M2の第2バレル6Aに対する光軸AX方向の位置、及び2軸の回りのチルト角の制御（以下、「3自由度の変位の制御」という）を行うことがで

きる。

【0079】また、一次像3からウエハWの表面に対する第2結像光学系K2（主鏡M1、副鏡M2）の投影倍率を $-\beta_2$ とすると、第2バレル6Aの支持面である継ぎ手19（支持部材34Bの下端）の中心を通り光軸AXに垂直な面は、一次像3からウエハWの表面までの光軸AXに沿った距離を1： β_2 に内分する点を通りその光軸AXに垂直な面にはほぼ接している。本例では $\beta_2 = -0.49$ である。これによって、第2バレル6Aがその支持面の回りに回転しても投影像の横シフトが生じない。

【0080】次に、第1バレル5Aは、レチクル側から順に能動型分割鏡筒44A、分割鏡筒45A、能動型分割鏡筒44B、44C、分割鏡筒39、45B、及び能動型分割鏡筒44D、44Eをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸方向に連結して構成されると共に、中段の分割鏡筒39のフランジ部が、偏心方向駆動素子17を介してリング状の支持部材35Aで支持され、支持部材35Aは、支持板11の開口部の周囲の上面に固定された3個の逆V字型の支持部材34Aに継ぎ手19及び上下方向駆動素子15を介して載置されている。これによって、第1バレル5A全体としての支持板11に対する5自由度の変位の制御を行うことができる。

【0081】また、5個の能動型分割鏡筒44A～44Eは、それぞれ外筒40に対してレンズ枠41、上下方向駆動素子20、及びスペーサ42を収納し（これらの順序は変化することがある）、スペーサ42の内側に偏心方向駆動素子17を介してレンズ枠43を固定して構成され、レンズ枠41及び43内にそれぞれレンズが保持されている。そして、5個の能動型分割鏡筒44A～44Eは、それぞれレンズL11、L14、L22、L26、L30を5自由度の変位の制御ができる状態で保持し、能動型分割鏡筒44A、44B、44DはそれぞれレンズL12、L15、L27を静止状態で保持し、2個の能動型分割鏡筒44C、44EはそれぞれレンズL21、L28をレンズL22、L30と共に3自由度の変位の制御ができる状態で保持している。更に、分割鏡筒45A、45Bはそれぞれレンズ枠41を介してレンズL13、L25を保持し、分割鏡筒39は2つのレ

(15)

特開2002-83766

27

レンズ41を介してレンズL23、L24を保持している。

【0082】そして、図6の全部の上下方向駆動素子14、15、20及び偏心方向駆動素子17の動作も図3の結像特性制御系27と同様の結像特性制御系によって制御されている。その結果、本例においても、投影光学系の組立調整時に、主鏡M1と副鏡M2との位置関係を容易に設計値に追い込むことができると共に、第1バレル5Aを組み立てた後の残留収差を低減することができる。更に、必要に応じて露光工程中に結像特性の補正を行することができる。

【0083】また、レチクルRのパターン面から一次像3に対する第1結像光学系K1（レンズL11～L30）の投影倍率を $-\beta 1$ とすると、第1バレル5Aの支持面である継ぎ手19の中心（支持部材34Aの上端）を通り光軸AXに垂直な面は、レチクルRのパターン面から一次像3までの光軸AXに沿った距離を $1:\beta 1$ に内分する点を通りその光軸AXに垂直な面にはば接している。本例では $\beta 1=-0.51$ であり、これによって、第1バレル5Aがその支持面の回りに回転しても投影像の横シフトが生じない。

【0084】なお、レンズL30は一次像（中間像）3より10mm程度下にあるが、機械的なバランスを考えて第1バレル5A（第1結像光学系K1）に属している。この場合中間像が虚像になるが、上述の説明が変わる訳ではない。また、本例の投影光学系には8面の非球面が含まれている。そのため、これより多い10個所のブロック構造（分割鏡筒44A、45B、44B、…37、36）がある。これによって、非球面相互の位置関係を設計値に対して高精度に合わせ込むことができる。

【0085】次に、図7は図6の平面図であり、この図7において、図6の上下方向駆動素子20は、光軸AXを中心として等角度間隔で配置された3箇所の位置20A～20Cに配置されている。また、図6の偏心方向駆動素子17は、直交する2方向にレンズ枠43を変位させる駆動部17A、17Cと、これらの駆動部に対してそのレンズ枠43を押し付ける2つの付勢部17B、17Dとから構成されている。更に、レンズ枠43にはバ

ージガスを円滑に流すための8個の開口43aが形成されている。

【0086】図6に戻り、各レンズ枠41にも同様にバージガスを流すための複数の開口が形成されている。本例ではバージガスとして窒素ガスが使用されており、レチクルRが収納されている気密室（レチクルステージ室）に供給された高純度のバージガスは、投影光学系の第1バレル5A内の各レンズ枠41、43の開口を通して第2バレル6A内に至り、第2バレル6A内に流入したバージガスは、レンズ枠38に設けられた開口（不図示）、及び副鏡M2の中央部の開口を経てウェハWが収納されている気密室（ウェハステージ室）に流れる。

28

この際に、各レンズ枠41、43には多数の開口が形成されているため、投影光学系の内部の気体をバージガスで置換する際に、残留（滞留）ガスを生じさせることなく素早く置換することが可能である。更に、穴あき構造にすることにより、反射鏡保持部材の軽量化も可能である。

【0087】更に、第1バレル5Aの気密性を高めるために、分割鏡筒44A、45A、44B、…の間にはそれぞれリング（不図示）が介装されている。更に、第1バレル5Aと第2バレル6Aとの間の空間を密閉するように、一例として伸縮性のある蛇腹状の被覆部材9Aが設けられ、分割鏡筒36、36の間の上下方向駆動素子15を覆うように伸縮性のある被覆部材（不図示）が設けられており、投影光学系の側面から外気が混入しないように構成されている。これによって投影光学系の内部のバージガスは高純度に維持される。

【0088】〔第3の実施の形態〕次に、本発明の第3の実施の形態の投影光学系につき図8、図9を参照して説明する。本例は、露光光としてArFエキシマレーザ（中心波長193.3nm）を使用すると共に、所定の反射鏡の外側を光が通過する軸外しの反射屈折型の投影光学系に本発明を適用したものであり、図8、図9において、図2～図6に対応する部分には同一又は類似の符号を付してその詳細説明を省略する。

【0089】図8は、本例の反射屈折型の投影光学系のレンズ構成図であり、この図8において、本例の投影光学系は、物体面1（第1面）にあるレチクルRのパターンの中間像11を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、中間像11からの光に基づいてレチクルパターンの最終像を像面4（第2面）にあるウェハWの表面上にテレセントリックに形成するための屈折型の第2結像光学系G2とを備えている。そして、第1結像光学系G1、及び第2結像光学系G2は、それぞれ第1バレル5B及び第2バレル6Bによって保持されている。

【0090】まず、第1結像光学系G1は、少なくとも1つの正レンズ成分を含むレンズ群L1と、レンズ群L1を透過した光を反射する第1の反射面M1と、第1の反射面M1で反射した光を第2結像光学系G2へ導くための第2の反射面M2とを有し、第1及び第2の反射面M1、M2の少なくとも一方は凹面反射面である。一例として、レンズ群L1は、レチクル側から順にレチクルに凹面を向けたメニスカス形状のレンズL11と、レチクルに凹面を向けたメニスカス形状の正屈折力のレンズL12と、レチクルに凸の非球面ASP1を向けたメニスカス形状のレンズL13とを有し、反射面M1は、レチクルに対して凹の非球面ASP2であり、反射面M2は、反射面M1に対して凹の非球面ASP3であり、反射面M1と反射面M2との間に凹凹形状のレンズL14が配置されている。

【0091】一方、第2結像光学系G2は、一例として

(16)

特開2002-83766

29

30

レチクル側から順に両凸形状のレンズL21と、レチクルに凹の非球面ASP4を向けた両凹形状のレンズL22と、両凸形状のレンズL23と、レチクルに凸の非球面ASP5を向けた両凸形状のレンズL24と、レチクルに凹面を向けたメニスカス形状のレンズL25と、両凸形状のレンズL26と、ウエハに凸の非球面ASP6を向けた両凸形状のレンズL27と、それぞれウエハに凹面を向けたメニスカス形状の3枚のレンズL28、L29、L2Aとを有し、レンズL23の入射面の近傍に開口絞りASが配置されている。

【0092】そして、本例の投影光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に配置され、物体面1と像面4とは相互にほぼ平行な平面であり、その投影光学系の射出瞳はほぼ円形である。図8の投影光*

* 光学系を構成する全ての屈折光学部材（レンズ成分）の内
で1枚のレンズL24については螢石（CaF₂結晶）
を使用しているが、それ以外のレンズについては合成石
英（SiO₂）を使用している。また、露光光であるA
rFエキシマレーザ光の発振中心波長は193.3nm
であり、発振波長幅は193.3nm±0.48pm程
度に狭帯化されており、中心波長193.3nmに対す
るSiO₂及びCaF₂の屈折率は以下の通りである。

【0093】SiO₂の屈折率：1.5603261

CaF₂の屈折率：1.5014548

更に本例の投影光学系で使用される非球面の形状は、
（1）式で表される。以下の表3に、表1に対応させて
本例の投影光学系の諸元の値を掲げる。

【0094】

《表3》

（主要諸元）

$\lambda = 193.3 \text{ nm}$ （中心波長）

$\beta = 0.2500$

NA = 0.75

面番号	r	d	光学材料
1	-211.97583	30.000000	SiO ₂
2	-354.80161	35.347349	
3	-8888.21083	38.000000	SiO ₂
4	-227.79960	0.944905	
5(ASP1)	303.84978	27.415767	SiO ₂
6	237634.15996	30.000000	
7(M2)	∞	214.776416	（仮想面）
8	-348.87932	12.000000	SiO ₂
9	4267.07121	5.579827	
10(ASP2)	-362.24910	-5.579827	(M1)
11	4267.07087	-12.000000	SiO ₂
12	-348.87932	-214.776416	
13(ASP3)	642.80918	246.776416	(M2)
14	208.71115	33.000000	SiO ₂
15	-2529.72930	257.546203	
16(ASP4)	-1810.41832	14.500000	SiO ₂
17	851.98207	220.408225	
18	15200.59096	30.000000	SiO ₂
19	-268.76515	0.200000	
20(ASP5)	434.96005	36.013163	CaF ₂
21	-345.83883	10.489902	
22	-215.91874	20.000000	SiO ₂
23	-619.95152	0.200000	
24	415.08345	40.000000	SiO ₂
25	-1275.90912	26.288090	
26	324.91386	35.000000	SiO ₂
27(ASP6)	-740.00769	5.214992	
28	140.91060	34.000000	SiO ₂
29	1406.88948	0.500000	
30	355.40083	17.506069	SiO ₂

(17)

特開2002-83766

31

32

31	98.27403	1.561573	
32	105.27944	75.940555	SiO ₂
33	1597.37798	12.920542	

(非球面データ)

ASP1

ASP2

ASP3

$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 3.260270$	$\kappa = 1.840470$
$A = 0.743561 \times 10^{-4}$	$A = 0.859110 \times 10^{-4}$	$A = 0.198825 \times 10^{-4}$
$B = -0.230589 \times 10^{-11}$	$B = 0.351935 \times 10^{-11}$	$B = 0.556479 \times 10^{-11}$
$C = -0.115168 \times 10^{-17}$	$C = -0.100064 \times 10^{-17}$	$C = 0.597091 \times 10^{-19}$
$D = -0.753145 \times 10^{-42}$	$D = 0.318170 \times 10^{-19}$	$D = 0.492729 \times 10^{-42}$
$E = 0.0$	$E = -0.489883 \times 10^{-42}$	$E = -0.103460 \times 10^{-44}$
$F = 0.0$	$F = 0.0$	$F = 0.0$
ASP4	ASP5	ASP6
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$
$A = -0.885983 \times 10^{-4}$	$A = -0.161380 \times 10^{-4}$	$A = 0.138330 \times 10^{-4}$
$B = -0.200044 \times 10^{-11}$	$B = 0.153066 \times 10^{-11}$	$B = 0.194125 \times 10^{-11}$
$C = -0.570861 \times 10^{-19}$	$C = 0.108604 \times 10^{-17}$	$C = -0.258860 \times 10^{-19}$
$D = 0.456578 \times 10^{-42}$	$D = 0.319975 \times 10^{-42}$	$D = -0.196062 \times 10^{-42}$
$E = -0.493085 \times 10^{-42}$	$E = -0.101080 \times 10^{-42}$	$E = 0.363539 \times 10^{-44}$
$F = 0.0$	$F = 0.0$	$F = 0.0$

【0095】本例の反射屈折型の投影光学系は、使用する硝材の吸収による結像性能の低下を抑えた上に、両側テレセントリックであるにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。次に、図8の投影光学系を投影露光装置に適用した場合の鏡筒の構成につき説明する。

【0096】図9(a)は、図8の投影光学系を投影露光装置に搭載した場合の要部を示す断面図であり、この図9(a)において、レンズL11～L14、及び反射面M1、M2を持つ反射鏡よりなる第1結像光学系G1が複数の分割鏡筒(保持ブロック)の集合体である第1パレル5B(鏡筒ユニット)によって保持され、レンズL21～L2Aよりなる第2結像光学系G2が複数の分割鏡筒(保持ブロック)の集合体である第2パレル6B(鏡筒ユニット)によって保持されている。第2パレル6Bは投影露光装置の支持板11の上面に着脱自在に取り付けられており、第1パレル5Bはその第2パレル6Bの上面に着脱自在に取り付けられている。

【0097】まず、第2パレル6Bは、レチクル側から順に分割鏡筒51、能動型分割鏡筒55B、55B、分割鏡筒56A、及び能動型分割鏡筒55Aをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト(不図示)によって光軸方向に連結して構成されている。そして、上端の分割鏡筒51のフランジ部が支持板11に設けられた開口部の周囲の上面に不図示のボルトを介して固定され、分割鏡筒51内にレンズ枠52、及び3箇所設けられたフレーム機構53を介してレンズL21が支持されている。

【0098】この場合、2個の能動型分割鏡筒55A、55Bは、それぞれ外筒54に対してレンズ枠52A、52B、3箇所の継ぎ手19、及び3箇所の上下方向駆

動素子20を収納して構成され、レンズ枠52A、52B内にそれぞれフレーム機構53を介してレンズが保持され、上下方向駆動素子20の上部にフレーム機構53を介してレンズが保持されている。そして、能動型分割鏡筒55Aは、レンズL2A、L29を静止状態で保持し、レンズL28を3自由度の変位の制御ができる状態で保持し、能動型分割鏡筒55Bは、レンズL25、L24を静止状態で保持し、レンズL23を3自由度の変位の制御ができる状態で保持している。また、分割鏡筒56Aは、2枚のレンズL27、L26を静止状態で支持し、能動型分割鏡筒56Bは、3箇所の継ぎ手19、上下方向駆動素子20、及びフレーム機構を介してレンズL22を3自由度の変位の制御ができる状態で支持している。

【0099】図9(b)は、図9(a)の投影光学系を示す底面図の一部であり、この図9(b)に示すように、フレーム機構53は、ロッド部材と、このロッド部材の両端部を回転可能な状態で支持する2つの保持部材とから構成され、支持対象のレンズの位置が目標位置に達した状態で、その保持部材とそのロッド部材とを固定できるように構成されている。このフレーム機構53を介してレンズを支持することによって、投影光学系の内部をパージガスが滞留することなく流れることができる。

【0100】図9(a)に戻り、第1パレル5Bは、レチクル側から順に能動型分割鏡筒57B、分割鏡筒56E、能動型分割鏡筒56D、57Aをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト(不図示)によって光軸方向に連結して構成されると共に、最下段の能動型分割鏡筒57Aが不図示のボルトを介して第2パレル6Bの分割鏡筒51

(18)

特開2002-83766

33

の上面に固定されている。そして、能動型分割鏡筒57Aの内部には3箇所の継ぎ手19及び上下方向駆動素子20を介して分割鏡筒56Cが設置され、分割鏡筒56C内にレンズ枠及びフレーム機構53を介して反射面M1を有する反射鏡、及びレンズL14が支持されている。これによって、レンズL14、及び反射面M1を持つ反射鏡は、能動型分割鏡筒57A内で3自由度の変位ができる状態で支持されている。

【0101】また、能動型分割鏡筒56Dの内側には偏心方向駆動素子17を介してレンズ枠52が保持され、レンズ枠52上に3箇所の継ぎ手、上下方向駆動素子20、及びフレーム機構を介して5自由度の変位ができる状態で反射面M2を持つ反射鏡が支持されている。更に、分割鏡筒56E内にフレーム機構を介して静止状態でレンズL13が支持され、最上段の能動型分割鏡筒57Bの内部にレンズ枠52C及びフレーム機構を介してレンズL11が支持されると共に、3箇所の継ぎ手、及び上下方向駆動素子を介して3自由度の変位ができる状態でレンズL12が支持されている。

【0102】そして、図9(a)の全部の上下方向駆動素子20及び偏心方向駆動素子17の動作も図3の結像特性制御系27と同様の結像特性制御系によって制御されている。その結果、本例においても、投影光学系の組立調整時に、反射面M1、M2を持つ2つの反射鏡の位置関係を容易に設計値に追いつくことができると共に、パレル5B、6Bを組み立てた後の残留収差を低減することができる。更に、必要に応じて露光工程中に結像特性の補正を行うことができる。

【0103】また、本例ではパージガスとしてアルゴンガス(Ar)が使用されており、最上段の能動型分割鏡筒57BからバルブV5付きの給気管を介して第1パレル5B内に供給されたパージガスは、各レンズ又は各反射鏡を支持するフレーム機構53の間を通過して第2パレル6B内に至り、第2パレル6A内に流入したパージガスは、各レンズを支持するフレーム機構53の間を通過してウエハWが収納されている気密室(ウエハステージ室)に流れる。この際に、各フレーム機構53の間には障害物がないため、投影光学系の内部の気体をパージガスで置換する際に、残留(滞留)ガスを生じさせることなく素早く置換することが可能である。更に、フレーム機構53を使用することにより、反射鏡保持部材の軽量化も可能である。

【0104】更に、パレル5B、6Bの気密性を高めるために、分割鏡筒57B、…、55Aの間にはそれぞれOリング(不図示)が介装されている。更に、第1パレル5Bの最上段のレンズL11の側面を覆うように一例として伸縮性のある蛇腹状の被覆部材9Bが設けられており、投影光学系の内部のパージガスは高純度に維持される。

【0105】上記のように本例の投影光学系には6面の

34

非球面が含まれている。そのため、その鏡筒機構にはその非球面より多い9個のブロック構造(分割鏡筒57B、56E、56D、…、56A、…、55A)がある。また、反射面M1、M2を持つ2つの反射鏡は、それぞれ3自由度の変位が可能であると共に、光軸AXに垂直な面内での相対的なシフトが可能である。

【0106】[第4の実施の形態] 次に、本発明の第4の実施の形態の投影光学系につき図10～図12を参照して説明する。本例は、露光光としてF、レーザ(波長157nm)を使用すると共に、それぞれ中心に穴が形成された2つの中抜け型の反射鏡を用いる反射屈折型の投影光学系に本発明を適用したものであり、図10～図12において、図2～図9に対応する部分には同一又は類似の符号を付してその詳細説明を省略する。

【0107】図10は、本例の反射屈折型の投影光学系のレンズ構成図であり、この図10において、本例の投影光学系は、物体面1(第1面)にあるレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1と、その第1中間像からの光より第2中間像を形成する反射屈折型の第2結像光学系G2と、その第2中間像からの光に基づいてレチクルパターンを最終像を像面4(第2面)にあるウエハWの表面上に形成する屈折型の第3結像光学系G2とを備えている。そして、結像光学系G1、G2、G3は、それぞれ第1パレル5C、第2パレル6C、及び第3パレル5Dによって保持されている。

【0108】本例の投影光学系も直筒型であるが、全長が長く(図10の構成例では1450mm程度)振動が伝わり易いため、振動の影響を抑えるために、3個のパレル5C、6C、5Dは、投影露光装置の支持板に対してそれぞれ独立に設置されている(図11参照)。これに対して、仮にパレル5Cがパレル6Cに搭載されるような構成を採用すると、パレル6Cが振動すればパレル5Cにもこの振動が伝わるので好ましくないことになる。

【0109】まず、第1結像光学系G1は、レチクルR側から順にレチクルに凹の非球面ASP1を向けたメニスカス形状のレンズL11と、レチクルに凹面を向けたメニスカス形状のレンズL12と、ウエハに凹の非球面ASP2を向けたメニスカス形状のレンズL13と、レチクルに凸面を向けたメニスカス形状のレンズL14と、ウエハに凹の非球面ASP3を向けたメニスカス形状のレンズL15と、レチクルに凸面を向けたメニスカス形状のレンズL16と、両凸形状の2枚のレンズL17、L18と、レチクルに凹の非球面ASP4を向けたメニスカス形状のレンズL19と、レチクルに凸面を向けたメニスカス形状の2枚のレンズL1A、L1Bと、ウエハに凸の非球面ASP5を向けた両凸形状のレンズL1Cとを有している。

【0110】次に、第2結像光学系G2は、レチクルR

(19)

特開2002-83766

35

側から順に光軸AXに沿ってウエハに凹面を向けた第1反射鏡M1と、ウエハに凹の非球面ASP6を向けたメニスカス形状のレンズL21と、レチクルに凹の非球面ASP7を向けたメニスカス形状のレンズL22と、レチクルに凹面を向けた第2反射鏡M2とを有している。本例では、反射鏡M1及びM2の光軸AX近傍の領域にそれぞれ第1中間像及び第2中間像が形成されるため、反射鏡M1及びM2の光軸AX近傍の領域には露光光（照明光）を通過させるための貫通穴（不図示）が形成されている。この際に、その貫通穴（遮蔽部）の全結像光束に対する遮蔽率は、NA比で19.5%であり、結像性能に与える影響は少ない。

【0111】一方、第3結像光学系G3は、レチクルR側から順にレチクルに凹の非球面ASP8を向けたメニスカス形状のレンズL31と、両凹形状のレンズL32と、レチクルに凹の非球面ASP9を向けたメニスカス形状のレンズL33と、レチクルに凹面を向けたメニスカス形状のレンズL34と、両凹形状のレンズL35と、ウエハに凹の非球面ASP10を向けたメニスカス形状のレンズL36と、レチクルに凸面を向けたメニスカス形状のレンズL37と、ウエハに凹の非球面ASP11を向けたメニスカス形状のレンズL38と、レチクルに凸面を向けたメニスカス形状のレンズL39と、レ*

36

*レチクルに凹の非球面ASP12を向けた両凹形状のレンズL3Aと、レチクルに凸面を向けたメニスカス形状のレンズL3Bとを有し、レンズL36とレンズL37との間に開口絞りASが配置されている。

【0112】そして、本例の投影光学系が有する全ての光学素子成分は単一の直線状の光軸AX上に配置され、物体面1と像面4とは相互にほぼ平行な平面である。また、反射鏡M1、M2の直径は約260mm以下で、それ以外のレンズ中で2枚の最大のレンズL21、L22の有効径は約246mm以下であり、その他の大部分のレンズの有効径は約183mm以下であるため、本例の投影光学系はコンパクトに設計されている。

【0113】図10の投影光学系を構成する全ての屈折光学部材（レンズ成分）は蛍石（CaF₂結晶）を使用している。露光光であるF₂レーザの中心波長157.6nmに対する蛍石の屈折率は1.5600000である。更に本例の投影光学系で使用される非球面の形状も、(1)式で表される。但し、本例では(1)式中の非球面係数E及びFの値は全て0である。以下の表4及び表5に、表1に対応させて本例の投影光学系の諸元の値を掲げる。

【0114】

《表4》

(主要諸元)

 $\lambda = 157.6 \text{ nm}$ (中心波長) $\beta = 0.2500$

NA = 0.75

レチクル面から第1面までの間隔 = 50.912830mm

面番号	r	d	光学材料
1(ASP1)	-3000.00000	20.777380	CaF ₂
2	-187.15560	92.403460	
3	-558.99669	25.971725	CaF ₂
4	-210.93675	15.861605	
5	263.61227	25.971725	CaF ₂
6(ASP2)	1257.90730	13.379506	
7	150.00000	29.526565	CaF ₂
8	94.28503	30.499818	
9	420.59234	20.800000	CaF ₂
10(ASP3)	141.55197	13.169057	
11	522.48173	20.722934	CaF ₂
12	155.53167	6.108278	
13	1055.46476	17.359120	CaF ₂
14	-130.14083	22.492621	
15	671.87155	21.568896	CaF ₂
16	-160.00000	37.130352	
17(ASP4)	-225.56184	20.677950	CaF ₂
18	-101.07298	14.929386	
19	156.60829	20.000000	CaF ₂
20	241.09685	3.949536	

		(20)	特開2002-83766
37			38
21	191.75976	20.777380	CaF ₂
22	480.17990	3.469721	
23	127.28576	33.411885	CaF ₂
24(ASP5)	-1587.54253	29.129562	
25	238.26996	35.886388	仮想面(M1)
26	376.45128	25.609160	CaF ₂
27(ASP6)	150.58157	97.992889	
28(ASP7)	-194.22167	25.609160	CaF ₂
29	-1120.36909	31.786896	
30	-246.29797	-31.786896	(M2)
31	-1120.36909	-25.609160	CaF ₂
32(ASP7)	-194.22167	-97.992889	
33(ASP6)	150.58157	-25.609160	CaF ₂
34	376.45128	-35.886388	
35	238.26996	35.886388	(M1)
36	376.45128	25.609160	CaF ₂
37(ASP6)	150.58157	97.992889	
38(ASP7)	-194.22167	25.609160	CaF ₂
39	-1120.36909	31.786896	
40	-246.29797	31.010448	仮想面(M2)
41(ASP8)	-3000.00000	43.702739	CaF ₂
42	-126.02993	5.832116	
43	-506.82326	18.699642	CaF ₂
44	619.13207	26.763769	
45(ASP9)	-1377.00220	44.048046	CaF ₂
46	-126.12121	5.581666	
47	-3000.00000	31.166070	CaF ₂
48	-211.50805	101.102525	
49	-404.56272	18.699642	CaF ₂
50	3000.00000	18.000000	
51	321.09183	25.000000	CaF ₂
52(ASP10)	3000.00000	31.200000	
53	∞	32.963838	AS
54	179.49045	30.535668	CaF ₂
55	3000.00000	42.026705	
56	228.90738	20.198128	CaF ₂
57(ASP11)	3000.00000	1.123733	
58	100.73952	33.183232	CaF ₂
59	1100.00000	6.964116	
60(ASP12)	-2754.43020	15.000000	CaF ₂
61	493.21390	6.009195	
62	154.38322	40.068312	CaF ₂
63	2793.72651	13.234625	

[0115]

《表5》

(非球面データ)

ASP1	ASP2	ASP3
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$
$A = -0.414199 \times 10^{-7}$	$A = -0.355346 \times 10^{-7}$	$A = -0.137576 \times 10^{-6}$
$B = 0.101382 \times 10^{-11}$	$B = 0.293775 \times 10^{-11}$	$B = -0.430519 \times 10^{-10}$

(21)

特開2002-83766

39

40

$C = -0.507220 \times 10^{-11}$	$C = 0.514678 \times 10^{-11}$	$C = 0.994337 \times 10^{-11}$
$D = 0.410909 \times 10^{-10}$	$D = 0.170581 \times 10^{-10}$	$D = -0.468002 \times 10^{-11}$
ASP 4	ASP 5	ASP 6
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$
$A = -0.144554 \times 10^{-9}$	$A = 0.223492 \times 10^{-9}$	$A = -0.161976 \times 10^{-7}$
$B = 0.106034 \times 10^{-10}$	$B = 0.383833 \times 10^{-11}$	$B = -0.584652 \times 10^{-12}$
$C = -0.946352 \times 10^{-11}$	$C = -0.194226 \times 10^{-11}$	$C = -0.193271 \times 10^{-10}$
$D = 0.959437 \times 10^{-10}$	$D = 0.106429 \times 10^{-11}$	$D = -0.650552 \times 10^{-11}$
ASP 7	ASP 8	ASP 9
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$
$A = 0.132322 \times 10^{-7}$	$A = -0.241471 \times 10^{-9}$	$A = -0.502983 \times 10^{-7}$
$B = 0.673254 \times 10^{-12}$	$B = -0.189700 \times 10^{-10}$	$B = 0.363010 \times 10^{-11}$
$C = 0.256289 \times 10^{-10}$	$C = 0.150133 \times 10^{-11}$	$C = -0.133698 \times 10^{-10}$
$D = 0.413237 \times 10^{-11}$	$D = -0.600549 \times 10^{-10}$	$D = -0.278297 \times 10^{-10}$
ASP 10	ASP 11	ASP 12
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$
$A = 0.262291 \times 10^{-7}$	$A = 0.118587 \times 10^{-7}$	$A = -0.182017 \times 10^{-7}$
$B = 0.174496 \times 10^{-11}$	$B = -0.220599 \times 10^{-11}$	$B = -0.384609 \times 10^{-11}$
$C = 0.726166 \times 10^{-10}$	$C = 0.904169 \times 10^{-10}$	$C = 0.715263 \times 10^{-10}$
$D = -0.125632 \times 10^{-10}$	$D = -0.814939 \times 10^{-10}$	$D = -0.161609 \times 10^{-10}$

【0116】本例の反射屈折型の投影光学系は、F₁レーザの中心波長に対して1 μm程度の波長幅で色収差が補正されると共に、球面収差、コマ収差、非点収差及び歪曲収差等が良好に補正されており、優れた結像性能を備えている。次に、図10の投影光学系を投影露光装置に適用した場合の鏡筒の構成につき説明する。

【0117】図11は、図10の投影光学系を投影露光装置に搭載した場合の要部を示す断面図であり、この図11において、レンズL11～L1Cよりなる第1結像光学系G1が複数の分割鏡筒（保持ブロック）の集合体である第1バレル5C（鏡筒ユニット）によって保持され、反射鏡M1、M2及びレンズL21、L22よりなる第2結像光学系G2が複数の分割鏡筒の集合体である第2バレル6Cによって保持され、レンズL31～L3Bよりなる第3結像光学系G3が複数の分割鏡筒の集合体である第3バレル5Dによって保持されている。第1バレル5C、及び第2バレル6Cは、互いに独立に投影露光装置の支持板11の上面に着脱自在に取り付けられており、第3バレル5Dはその支持板11の開口の周囲の底面に吊り下げる形で着脱自在に取り付けられてい

る。

【0118】先ず、第3バレル5Dは、基本的にレチクル側から順に能動型分割鏡筒67E、分割鏡筒67D、67C、能動型分割鏡筒67A、及び分割鏡筒67Bをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸方向に連結して構成されている。そして、中央部の能動型分割鏡筒67Aが、偏心方向駆動素子17を介してリング状の支持部材35Bで支持され、支持部材35Bが3箇所の上下方向駆動素子14、及び継ぎ手19を介して支持板11の底面に吊り下げられるように連結さ

れている。

【0119】また、最下段の分割鏡筒67Bは、それぞれレンズ枠68を介して2枚のレンズL3A、L3Bを静止状態で保持し、その上の能動型分割鏡筒67Aは、レンズL39を静止状態で保持すると共に、3箇所の継ぎ手、上下方向駆動素子20、及びレンズ枠69を介してレンズL38を3自由度の変位の制御ができる状態で保持する。その上の2つの分割鏡筒67C及び67Dは、それぞれ2枚のレンズL35、L36及び2枚のレンズL33、L34を静止状態で保持し、最上段の能動型分割鏡筒67Eは、レンズL32を静止状態で保持すると共に、3箇所の継ぎ手、及び上下方向駆動素子20を介してレンズL31を3自由度の変位の制御ができる状態で保持する。

【0120】次に、第2バレル6Cは、基本的にレチクル側から順に能動型分割鏡筒64A及び64Bを3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸方向に連結して構成されている。そして、上部の能動型分割鏡筒64Aが、偏心方向駆動素子17を介してリング状の支持部材35Aで支持され、支持部材35Aが3箇所の上下方向駆動素子15、及び継ぎ手を介して支持板11の上面の3箇所の逆V字型の支持部材34Aの上端に連結されている。

【0121】この場合、能動型分割鏡筒64Aは、継ぎ手及び上下方向駆動素子20を介して3自由度の変位制御ができる状態で能動型分割鏡筒65Aを保持し、能動型分割鏡筒65Aは、継ぎ手、上下方向駆動素子20、及びレンズ枠を介してレンズL21を3自由度の変位制御ができる状態で保持すると共に、レンズ枠66を介して反射鏡M1を静止状態で保持する。更に、能動型分割

鏡筒64Bは、偏心方向駆動素子17を介して分割鏡筒65Bを保持し、分割鏡筒65Bは、それぞれレンズ枠を介してレンズL22及び反射鏡M2を静止状態で保持する。この結果、2枚の反射鏡M1、M2は、光軸AXに垂直な面内で直交する2方向に相対移動自在に、かつ光軸AX方向及び2軸の回りのチルト角の方向に相対変位自在に保持されている。

【0122】次に、第1バレル5Cは、基本的にレチクル側から順に能動型分割鏡筒63E、分割鏡筒63D、能動型分割鏡筒63C、2つの分割鏡筒63B、61、及び能動型分割鏡筒63Aをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸方向に連結して構成されている。そして、中央部の分割鏡筒61のフランジ部が、偏心方向駆動素子17を介してリング状の支持部材35Cで支持され、支持部材35Cが3箇所の上下方向駆動素子15、及び継ぎ手を介して支持板11の上面の3箇所の逆V字型の支持部材34Cの上端に連結されている。この場合、支持部材34Cは支持板11上で第2バレル6C用の支持部材34Aの外側に固定されている。

【0123】そして、最下段の能動型分割鏡筒63Aは、それぞれレンズ枠を介して2枚のレンズL1B、L1Cを静止状態で保持すると共に、上下方向駆動素子20を介してレンズL1Aを3自由度の変位制御ができる状態で保持し、その上の分割鏡筒61は、レンズ枠を介して3枚のレンズL17～L19を静止状態で保持し、その上の分割鏡筒63Bは、レンズ枠を介して2枚のレンズL15、L16を静止状態で保持する。更に、その能動型分割鏡筒63Cは、3箇所の継ぎ手、上下方向駆動素子20、及びレンズ枠を介してレンズL14を3自由度の変位制御ができる状態で保持すると共に、レンズL13を静止状態で保持し、その上の分割鏡筒63Dは、レンズL12を静止状態で保持し、最上段の能動型分割鏡筒63Eは、3箇所の継ぎ手19、上下方向駆動素子20、及びレンズ枠を介してレンズL11を3自由度の変位制御ができる状態で保持する。

【0124】このように本例の投影光学系を保持する3個のバレル5C、6C、5Dはそれぞれ支持板11に対して5自由度の変位制御ができる状態で支持されると共に、第2バレル6C以外で5個のレンズが3自由度の変位制御ができる状態で支持されている。図11の全部の上下方向駆動素子14、15、20及び偏心方向駆動素子17の動作も図3の結像特性制御系27と同様の結像特性制御系によって制御されている。その結果、本例においても、投影光学系の粗立調整時に、反射鏡M1、M2の位置関係を容易に設計値に追いつくことができると共に、バレル5C、6C、5Dを組み立てた後の残像収差を低減することができる。更に、必要に応じて露光工程中に結像特性の補正を行うことができる。

【0125】また、本例の投影光学系の内部にはバージ

ガスとしてアルゴンガス（Ar）が供給されており、最上段の能動型分割鏡筒63EからバルブV5付きの給気管を介して第1バレル5C内に供給されたバージガスは、各レンズ又は各反射鏡を支持するレンズ枠の開口（不図示）を通過して第2バレル6C内に至る。図12は、図11の投影光学系の第2バレル6CをCC線に沿って見た平面図であり、この図12に示すように、反射鏡M1を保持するレンズ枠66には等角度間隔で多数の開口66aが形成されている。

【0126】図11に戻り、他のレンズ（最上段のレンズL11を除く）及び反射鏡M2を保持するレンズ枠にもそれぞれ多数の開口が形成されている。この結果、第2バレル6C内を流れたバージガスは、第3バレル5D内を通過して、ウェハWが収納されている気密室（ウェハステージ室）に流れる。このように多数の開口を有するレンズ枠66等を使用することによって、投影光学系の内部をバージガスが滞留することなく流れることができる。更に、レンズ枠66を使用することにより、反射鏡保持部材の軽量化も可能である。

【0127】更に、バレル5C、6C、5D間の気密性を高めるために、バレル5Cとバレル6Cとの間、及びバレル6Cとバレル5Dとの間にはそれぞれ一例として伸縮性のある蛇腹状の被覆部材9C、9Dが設けられており、投影光学系の内部のバージガスは高純度に維持される。また、図11において、各バレル5C、6C、5Dは、それぞれ傾斜したときに像の傾ズレがもっとも発生しにくい位置で保持するのが好ましい。このためには、第2の実施の形態と同様に、k番目のバレル（ $k=1, 2, \dots$ ）が形成する像の倍率が $-\beta k$ （ $\beta k > 0$ ）であるとき、そのバレルは、第k面と第（ $k+1$ ）面との間を光軸AXに沿って1： β で内分する点を通り、その光軸AXに垂直な平面の近傍で保持すればよい。この説明は、途中で中間像が形成される回数が増えても本質的には変わらない。

【0128】本例では、一例として中間像がレチクルRのパターン面の位置から、それぞれウェハ側に626mm、及び830mmの位置に形成されている。また、その際の結像倍率は、第1結像光学系G1（第1バレル5C）、第2結像光学系G2（第2バレル6C）、及び第3結像光学系G3（第3バレル5D）でそれぞれ-0.35倍、-0.99倍、-0.72倍である。また、投影光学系全体の倍率は-0.25倍である。よって、第1バレル5C、第2バレル6C、及び第3バレル5Dの保持位置は、それぞれ、レチクルRのパターン面から464mm、729mm、及び1190mmの位置にあることが望ましい。また、投影光学系全体を支持する支持板11の中心は物点と像点とを1：0.25で内分する位置（つまりレチクルRのパターンから1160mmの位置）にあることが望ましい。

【0129】また、本例の投影光学系は12面の非球面

加工が施されている。そのため、3個のパレル5C、6C、5Dは、12個より多い13個のブロックに分けられている。なお、上記の各実施形態において、各ブロック（例えば図3の能動型分割鏡筒22A～22E等）に含まれる非球面が複数あると、その非球面同士が大きく偏心している場合に、そのブロックで発生した非球面による高次の偏心収差を補正することは困難である。そのため、1個のブロックに含まれる非球面は1面以下であることが望ましい。上記の各実施形態は、全てこの条件を満たしている。

【0130】〔第5の実施形態〕次に、本発明の第5の実施形態の投影光学系につき図13～図15を参照して説明する。本例は、露光光としてF、レーザ（波長157nm）を使用すると共に、2つの光路折り曲げ鏡を有する反射屈折型の投影光学系に本発明を適用したものであり、図13～図15において、図2～図12に対応する部分には同一又は類似の符号を付してその詳細説明を省略する。

【0131】図13は、本例の反射屈折型の投影光学系のレンズ構成図であり、この図13において、本例の投影光学系は、物体面1（第1面）にあるレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1と、その第1中間像からの光より第2中間像を形成する反射屈折型の第2結像光学系G2と、その第2中間像からの光に基づいてレチクルパターンの最終像を像面4（第2面）にあるウエハWの表面上に形成する屈折型の第3結像光学系G2とを備えている。

【0132】第1結像光学系G1が形成する第1中間像の形成位置の近傍には、第1光路折り曲げ鏡AMが配置されている。第1光路折り曲げ鏡AMは、第1中間像へ向かう光束または第1中間像からの光束を第2結像光学系G2に向かって偏向する。第2結像光学系G2は、凹面反射鏡CMと少なくとも1つのレンズよりなる負レンズ群G4とを有し、第1中間像からの光束に基づいて第1中間像とはほぼ等倍の第2中間像（第1中間像の像であってレチクルパターンの2次像）を第1中間像の形成位置の近傍に形成する。

【0133】第2結像光学系G2が形成する第2中間像の形成位置の近傍には、第2光路折り曲げ鏡BMが配置されている。第2光路折り曲げ鏡BMは、第2中間像へ向かう光束または第2中間像からの光束を屈折型の第3結像光学系G3に向かって偏向する。ここで、第1光路折り曲げ鏡AMの反射面と第2光路折り曲げ鏡BMの反射面とは、空間的に重複しないように位置決めされている。第3結像光学系G3は、第2中間像からの光束に基づいて、レチクルRのパターンの縮小像（第2中間像の像であって反射屈折光学系の最終像）を、第1面と平行である第2面に配置された感光性基板としてのウエハW上に形成する。

【0134】これらの結像光学系G1、G2、G3は、

図14に示すようにそれぞれ第1パレル5E、第2パレル6D、及び第3パレル5Fによって保持されている。本例の投影光学系は、2つの光軸を有する軸外し型であるが、前述の実施形態とは異なり、3個のパレル5E、6D、5Fは一体的に設置されている。ここで言う「一体的に設置」とは、投影光学系が組み上げられた後で互いに固定されている状態を指し、組み上げ時には3個のパレル5E、6D、5Fは、互いにそれらの位置及び間隔が変更可能である。

【0135】本例では、複数のレンズを含む屈折光学系である第1結像光学系G1及び第3結像光学系G3で生じる色収差及び正値のベッツバール和を、第2結像光学系G2の凹面反射鏡CMにより補償する。また、第2結像光学系G2がほぼ等倍の結像倍率を有する構成により、第1中間像の近傍に第2中間像を形成することが可能となる。本例では、この2つの中間像の近傍において光路分離を行うことにより、露光領域（即ち実効露光領域）の光軸からの距離、即ち軸外し量を小さく設定することができる。これは、収差補正の点で有利となるだけでなく、光学系の小型化、光学調整、機械設計、製造コストなどの点でも有利となる。

【0136】第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1及び第3結像光学系G3で生じる色収差及び正値のベッツバール和の補償を一手に負担する。このため、第2結像光学系G2を構成する凹面反射鏡CM及び負レンズ群G4のパワーを共に大きく設定する必要がある。したがって、第2結像光学系G2の対称性が崩れると、倍率色収差や色コマ収差のような非対称色収差の発生量が大きくなり、十分な解像力を得ることができなくなってしまふ。そこで、本例では、第2結像光学系G2の結像倍率をほぼ等倍に設定し、且つその離位置の近傍に凹面反射鏡CMを配置することのできる構成を採用することにより、良好な対称性を確保し、上述の非対称色収差の発生を防ぐことに成功している。

【0137】また、本例では光路折り曲げ鏡AM、BMは1つの反射鏡ブロックFMで兼用されているが、光路折り曲げ鏡AM、BMを2枚の平面ミラーより形成してもよい。そして、本例では、第1光路折り曲げ鏡AMの反射面の仮想延長面（平面状の反射面を無限に延長して得られる仮想面）と第2光路折り曲げ鏡BMの反射面の仮想延長面との交線が、第1結像光学系G1の光軸AX1、第2結像光学系G2の光軸AX2、及び第3結像光学系G3の光軸AX3と一点（基準点）で交わるように設定されている。この構成により、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とが共通光軸となるように設定することが可能となり、とりわけ3つの光軸AX1～AX3及び2つの反射面を1つの基準点に関連して位置決めすることが可能となるので、光学系の安定性が増し、光学調整及び機械設計が容易となる。また、第2結像光学系G2の光軸AX2が第1結

(24)

特開2002-83766

45

46

像光学系G1の光軸AX1及び第3結像光学系G3の光軸AX3と直交するように設定することにより、さらに精度の高い光学調整が容易になり、光学系のさらに高い安定性を達成することができる。

【0138】次に、各結像光学系G1、G2、G3の構成について説明する。第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL11と、両凸レンズL12と、両凸レンズL13と、両凸レンズL14と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、両凸レンズL19と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL110とから構成されている。

【0139】また、第2結像光学系G2は、光の進行方向に沿ってレチクル側（即ち入射側）から順に、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、凹面反射鏡CMとから構成され、2枚の負メニスカスレンズL21、L22より負レンズ群G4が構成されている。この場合、2つの光路折り曲げ鏡AM、BMも第2結像光学系G2の一部であるとみなすことが*

*できる。

【0140】さらに、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL31と、両凸レンズL32と、両凸レンズL33と、両凹レンズL34と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL35と、開口絞りASと、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL36と、両凸レンズL37と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL38と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL39と、両凹レンズL310と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズL311とから構成されている。

【0141】図13の投影光学系を構成する全ての屈折光学部材（レンズ成分）は蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。露光光であるF₂レーザの中心波長157.6nmに対する蛍石の屈折率は1.559238である。更に本例の投影光学系で使用される非球面の形状も、(1)式で表される。但し、本例では(1)式中の非球面係数E及びFの値は全て0である。以下の表6及び表7に、表1に対応させて本例の投影光学系の諸元の値を掲げる。

【0142】

《表6》

(主要諸元)

 $\lambda = 157.624 \text{ nm}$ $\beta = -0.25$ $\text{NA} = 0.75$

レチクル面から第1面までの間隔 = 129.131192 mm

面番号	r	d	光学材料
1	8233.14221	20.000000	CaF_2 (レンズL11)
2(ASP1)	229.43210	8.970677	
3	286.74048	31.000034	CaF_2 (レンズL12)
4	-803.12188	1.000000	
5	666.75874	33.633015	CaF_2 (レンズL13)
6	-296.74142	1.000000	
7	180.00000	38.351830	CaF_2 (レンズL14)
8	-2028.08028	13.262240	
9	201.14945	12.933978	CaF_2 (レンズL15)
10	128.43682	221.621142	
11(ASP2)	-127.65364	20.866949	CaF_2 (レンズL16)
12	-120.00000	1.000000	
13	-302.13109	23.424817	CaF_2 (レンズL17)
14	-150.00000	1.000000	
15	-1158.54680	23.049991	CaF_2 (レンズL18)
16	-228.52501	1.000000	
17	433.60399	22.934308	CaF_2 (レンズL19)
18	-656.20038	1.000000	
19	188.30389	21.335899	CaF_2 (レンズL110)
20	563.10068	86.000000	

		(25)	特開2002-83766
47			48
21	∞	-273.261089	(第1光路折り曲げ鏡AM)
22	114.73897	-12.000000	CaF ₂ (レンズL21)
23	453.07648	-16.355803	
24(ASP3)	172.15013	-13.328549	CaF ₂ (レンズL22)
25	395.88538	-28.227312	
26	162.85844	28.227312	(凹面反射鏡CM)
27	395.88538	13.328549	CaF ₂ (レンズL22)
28(ASP3)	172.15013	16.355803	
29	453.07648	12.000000	CaF ₂ (レンズL21)
30	114.73897	273.261089	
31	∞	-94.835481	(第2光路折り曲げ鏡BM)
32(ASP4)	-774.94652	-26.931959	CaF ₂ (レンズL31)
33	275.96516	-1.000000	
34	-376.08486	-31.371246	CaF ₂ (レンズL32)
35	388.08658	-1.000000	
36	-219.25460	-29.195314	CaF ₂ (レンズL33)
37	4359.72825	-32.809802	
38	505.14516	-12.000000	CaF ₂ (レンズL34)
39	-128.75641	-209.396172	
40	-180.58054	-24.481519	CaF ₂ (レンズL35)
41	-331.81286	-14.336339	
42	∞	-30.366910	(開口絞りAS)
43	-1502.56896	-24.392042	CaF ₂ (レンズL36)
44(ASP5)	933.76923	-1.000000	
45	-357.34412	-25.686455	CaF ₂ (レンズL37)
46	2099.98513	-1.000000	
47	-163.08575	-32.557214	CaF ₂ (レンズL38)
48	-631.02443	-1.000000	
49	-124.04732	-35.304921	CaF ₂ (レンズL39)
50	-639.72650	-18.536315	
51	467.75212	-40.196625	CaF ₂ (レンズL310)
52	-616.22436	-1.000000	
53	-95.47627	-38.068687	CaF ₂ (レンズL311)
54	∞	-11.016920	
(ウエハ面)			

[0143]

《表7》
(非球面データ)

(ASP1)	(ASP2)	(ASP3)
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$
$A = 0.174882 \times 10^{-7}$	$A = -0.130822 \times 10^{-7}$	$A = -0.293460 \times 10^{-7}$
$B = -0.593217 \times 10^{-12}$	$B = 0.512133 \times 10^{-12}$	$B = -0.868472 \times 10^{-12}$
$C = -0.194756 \times 10^{-16}$	$C = 0.875810 \times 10^{-10}$	$C = -0.848590 \times 10^{-17}$
$D = 0.677479 \times 10^{-11}$	$D = 0.138750 \times 10^{-19}$	$D = -0.159330 \times 10^{-11}$
$E = -0.212612 \times 10^{-11}$	$E = -0.203194 \times 10^{-11}$	$E = 0.868714 \times 10^{-16}$
$F = -0.320584 \times 10^{-19}$	$F = 0.241236 \times 10^{-17}$	$F = -0.116970 \times 10^{-19}$
(ASP4)	(ASP5)	
$\kappa = 0.000000$	$\kappa = 0.000000$	
$A = 0.253400 \times 10^{-7}$	$A = -0.140105 \times 10^{-7}$	
$B = -0.505553 \times 10^{-12}$	$B = -0.779968 \times 10^{-12}$	

(26)

特開2002-83766

49

50

$$\begin{aligned}
 C &= 0.151509 \times 10^{-30} & C &= -0.148693 \times 10^{-10} \\
 D &= -0.433597 \times 10^{-11} & D &= 0.100788 \times 10^{-12} \\
 E &= 0.841427 \times 10^{-13} & E &= -0.251962 \times 10^{-13} \\
 F &= 0.165932 \times 10^{-19} & F &= 0.104216 \times 10^{-19}
 \end{aligned}$$

【0144】以上のように、図13の反射屈折型の投影光学系では、中心波長が157.624nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、75の像側NAを確保すると共に、ウエハ上で半径14.6mmのイメージサークルを確保することができる。従って、図13の投影光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、図13の投影光学系をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用する場合には、ウエハ上での露光領域を例えば22mm×6.6mmの矩形状に設定することができる。

【0145】次に、図13の投影光学系を投影露光装置に適用した場合の鏡筒の構成につき説明する。図14は、図13の投影光学系を投影露光装置に搭載した場合の要部を示す断面図であり、この図14において、レンズL11～L110よりなる第1結像光学系G1が複数の分割鏡筒（保持ブロック）の集合体である第1パレル5E（鏡筒ユニット）によって光軸AX1に沿って保持され、光路折り曲げ鏡AM、BM（反射鏡ブロックFM）、レンズL21、L22及び凹面鏡CMよりなる第2結像光学系G2が複数の分割鏡筒の集合体である第2パレル6Dによって光軸AX2に沿って保持され、レンズL31～L311よりなる第3結像光学系G3が複数の分割鏡筒の集合体である第3パレル5Fによって光軸AX3に沿って保持されている。なお、光軸AX1及びAX3は共軸であり、光軸AX2はこれらの光軸AX1、AX3と直交している。

【0146】ここで、第1パレル5Eは、第2パレル6Dの上面に取り付けられており、第2パレル6Dは、第3パレル5Fの上面に取り付けられている。そして、第3パレル5Fは、投影露光装置本体の支持板11の開口部に搭載されている。次に、各パレル5E、5F、6Dの構成について説明する。まず、第3パレル5Fは、複数の分割鏡筒76A～76C、能動型分割鏡筒77、分割鏡筒78、76D、79、76E～76Jをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸AX3方向に連結して構成されている。そして、分割鏡筒76A～76JはレンズL31～L311をそれぞれ保持するレンズ枠80A～80Jを有している。ここで、レンズ枠80A～80Jには、前述の図7及び図12の例と同様にパージガスを円滑に流すための開口が設けられている。そして、能動型分割鏡筒77は、外筒部18に対して3箇所の位置で回転自在の継ぎ手19、及び上下方向駆動素子20を介してレンズ枠81を配置して構成され、そのレンズ枠81内に光学素子（レンズL34）が保持されている。

【0147】図15は、能動型分割鏡筒77を示す斜視図であり、この図15において、上下方向駆動素子20は、光軸AX3を中心として120°間隔の3箇所に取り付けられている。これら3つの上下方向駆動素子20の駆動によりレンズL34は、能動型分割鏡筒77の外筒部18に対して、光軸AX3に沿った方向、及び光軸と直交する2つの軸を中心とした回転方向の3自由度の変位が可能となる。なお、レンズ枠81には、パージガスを円滑に流すための複数の開口81aが設けられている。

【0148】図14に戻り、本実施形態においては、上述の実施形態とは異なり、レンズを保持するためのレンズ枠80A～80Jが分割鏡筒76A～76Jの外筒部（連結部分）と一体的に設けられている。なお、これら分割鏡筒76A～76Jの外筒部とレンズ枠80A～80Jとを弾性ヒンジ等でキネマティックに連結しても良い。この場合、分割鏡筒76A～76Jにかかる応力がレンズ枠80A～80Jを介してレンズL31～L311へ伝わる恐れが無く、レンズL31～L311が応力変形することによる結像性能劣化を招く恐れが無い利点がある。なお、レンズ枠80A～80Jにおけるレンズ保持部分と開口部が設けられて分割鏡筒80A～80Jの外筒部に接続されている部分とを弾性ヒンジ等でキネマティックに連結しても同様の効果が得られる。

【0149】また、第3パレル5Fにおいて、分割鏡筒78には露光装置本体の支持板11に接続するためのフランジ部分が設けられており、分割鏡筒79には、投影光学系の開口数を可変とするための可変開口絞りASが設けられている。さて、第2パレル6Dは、上面で第1パレル5Eと接続されるとともに、下面で第3パレル5Fと接続されて光路折り曲げ鏡AM、BM（反射鏡ブロックFM）を収納する分割鏡筒73Aと、レンズL21、L22を収納する分割鏡筒73B、73Cと、凹面反射鏡CMを収納する分割鏡筒73Dと、第2パレル6Dにおけるパージ蓋となる分割鏡筒73Eとを有しており、これらの分割鏡筒73A～73Eは、それぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸AX2方向に連結されている。

【0150】ここで、分割鏡筒73Aは、第1パレル5E及び第3パレル5Fとそれぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸AX1（AX3）方向に連結されている。そして、分割鏡筒73Aはアーム74Aを有しており、このアーム74Aは、保持部75Aを介して反射鏡ブロックFMを保持している。また、分割鏡筒73B、73Cは、それぞれレンズL21及びL22を保持するレンズ枠74B及び74Cを有している。こ

(27)

特開2002-83766

51

ここで、レンズ枠74B及び74Cには、前述の図7及び図12の例と同様にパージガスを円筒に流すための開口が設けられている。分割鏡筒74Dは凹面鏡CMを保持するレンズ枠74Dを有している。

【0151】さて、第1パレル5Eは、レチクル側から順に、分割鏡筒70A、能動型分割鏡筒71A、分割鏡筒70B、能動型分割鏡筒71B、分割鏡筒70C、能動型分割鏡筒71C、分割鏡筒70D、能動型分割鏡筒71D、及び分割鏡筒70E、70Fをそれぞれ3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸AX1方向に連結して構成されている。ここで分割鏡筒70Fは、第2パレル6Dの分割鏡筒73Aと3箇所以上の位置でボルト（不図示）によって光軸AX1方向に連結されている。

【0152】ここで、分割鏡筒70Aの構成は、上述の分割鏡筒76A～76Jとはレンズ枠に開口部が設けられていない点で異なる。また、分割鏡筒70B～70Fの構成は、上述の分割鏡筒76A～76Jと同様であるためここでは説明を省略する。また、能動型分割鏡筒71A～71Dの構成は、上述の能動型分割鏡筒77と同様であり、それぞれ光学素子（レンズL12、L14、L16、L18）を光軸AX1方向、及び光軸AX1と直交する2軸に関する回転方向の3自由度の制御ができる状態で支持している。

【0153】図14の例では、第1パレル5Eの能動型分割鏡筒71AにバルブV5付きの給気管が接続されており、第2パレル6Dの分割鏡筒73DにバルブV5付きの給気管が接続されている。これらの給気管を介して投影光学系の内部に温度制御された高純度のパージガスが供給されている。このパージガスは、レンズ枠に設けられた開口を経て各パレル5E、6D、5F内を流れ、第3パレル5Fの分割鏡筒76Jに接続されたバルブV15付きの排気管から投影光学系の外部へ排出される。

【0154】本例では、2個以上の反射部材（FM、CM）を含んでおり、上述の実施形態と同様に、一方の反射部材に対して他方の反射部材を調整する必要がある。そこで、本例でも、分割鏡筒73A、73Dで示すように一つの保持ブロックには1つの反射部材しか含まないようにしている。続いて、この投影光学系の製造手順の一例について簡単に説明する。本例の投影光学系は、屈折型の第1及び第3結像光学系G1、G3と反射屈折型の第2結像光学系G2とで構成されており、屈折型の第1及び第3結像光学系G1、G3に関しては、従来の屈折型の投影光学系と同様に、第1及び第3結像光学系G1、G3の収差を計測しつつ各分割鏡筒及び各能動型分割鏡筒の偏心調整や間隔調整を行いつつ組み上げて、第1及び第3パレル5E、5Fを完成させる。このような分割鏡筒の偏心調整や間隔調整に関しては、例えば特開2001-56426号公報に開示されている。また、反射屈折型の第2結像光学系G2に関しては、先ずオートコリメー

52

タや干渉計等を使用して、分割鏡筒73Aに対する光路折り曲げ鏡AM、BM（反射鏡ブロックFM）の位置を所望の位置に設定し、次いでこの分割鏡筒73Aに対して分割鏡筒73B～73Dの位置決めを行い第2パレル6Dを完成させる。その後、各パレル5E、6D、5Fを接続し、投影光学系全体の収差を計測しつつ、各パレル5E、6D、5Fの偏心調整や間隔調整を行い、必要であれば、投影光学系全体の収差を計測しつつ各能動型分割鏡筒71A～71D、77に対する光学素子（レンズL12、L14、L16、L18及びL34）の3自由度の位置調整を行って、投影光学系の結像性能を所定の性能まで追い込む。

【0155】次に、上記の実施の形態の投影光学系を借えた投影露光装置の構成例について説明する。図16は、本例の投影露光装置の概略構成を示す図であり、この図5においてはXYZ座標系を採用している。この投影露光装置は、露光光源101としてF、レーザ光源（又はArFエキシマレーザ光源）を使用し、投影光学系Pとして上記の第1～第4の実施の形態の何れかの反射屈折型の投影光学系を使用している。なお、露光光源101としては、波長約120nm～約180nmの真空紫外域に属する光を発する光源、例えば発振波長146nmのクリプトンダイマーレーザ（Kr、レーザ）や、発振波長126nmのアルゴンダイマーレーザ（Ar、レーザ）などをも用いることができる。また、本例の投影露光装置は、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定方向へレチクル及びウエハを同期して走査することにより、ウエハ上の1つのショット領域にレチクルのパターン像を逐次転写するステップ・アンド・スキャン方式を採用している。

【0156】図16において、露光光源101からの露光ビームとしてのパルスレーザ光（照明光）は、偏向ミラー103にて偏向されて、光路遅延光学系105へ向かい、その照明光の時間的可干渉距離（コヒーレンス長）以上の光路長差が付与された時間的に複数の光束に分割される。なお、このような光路遅延光学系は例えば特開平1-198759号公報や特開平11-174365号公報に開示されている。

【0157】光路遅延光学系105から射出される照明光は、光路偏向ミラー106にて偏向された後に、第1フライアイレンズ107、ズームレンズ108、振動ミラー109を順に介して第2フライアイレンズ110に達する。第2フライアイレンズ110の射出側には、有効光源のサイズ・形状を所望に設定するための照明光学系開口絞り用の切り替えレボルバ111が配置されている。本例では、照明光学系開口絞りでの光量損失を低減させるために、ズームレンズ108による第2フライアイレンズ110への光束の大きさを可変としている。

【0158】照明光学系開口絞りの開口から射出した光束は、コンデンサレンズ群112を介して照明視野絞り

(レチクルブラインド)113を照明する。なお、照明視野絞り113については、特開平4-196513号公報、及びこれに対応する米国特許第5,473,410号公報に開示されている。照明視野絞り113からの光は、偏向ミラー115、118、レンズ群116、117、119からなる照明視野絞り結像光学系(レチクルブラインド結像系)を介してレチクルR上へ導かれ、レチクルR上には、照明視野絞り112の開口部の像である照明領域が形成される。レチクルR上の照明領域からの光は、投影光学系P1を介してウエハW上へ導かれ、ウエハW上には、レチクルRの照明領域内のパターンの縮小像が形成される。

【0159】さて、真空紫外域の波長の光を露光光とする場合には、その光路から酸素、水蒸気、炭化水素系のガス等の、かかる波長帯域の光に対し強い吸収特性を有するガス(以下、適宜「吸収性ガス」と呼ぶ)を排除する必要がある。従って、本実施形態では、照明光路(露光光源101～レチクルRへ至る光路)及び投影光路(レチクルR～ウエハWへ至る光路)を外部雰囲気から遮断し、それらの光路を真空紫外域の光に対する吸収の少ない特性を有する特定ガスとしての窒素、ヘリウム、アルゴン、ネオン、クリプトンなどのガス、またはそれらの混合ガス(以下、適宜「パージガス」と呼ぶ)で満たしている。

【0160】具体的には、露光光源101から光延延光学系105までの光路をケーシング102により外部雰囲気より遮断し、光延延光学系105から照明視野絞り113までの光路をケーシング104により外部雰囲気より遮断し、照明視野絞り結像光学系をケーシング114、150により外部雰囲気から遮断し、それらの光路内に上記パージガスを充填している。また、投影光学系P1自体も既に説明したようにその鏡筒がケーシングとなっており、その内部光路に上記パージガスを充填している。

【0161】ケーシング120は、照明視野絞り結像光学系を納めたケーシング150と投影光学系P1との間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部にレチクルRを保持するレチクルステージRSを収納している。このケーシング120には、レチクルRを搬入・搬出するための扉122が設けられており、この扉122の外側には、レチクルRを搬入・搬出時にケーシング120内の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室121が設けられている。このガス置換室121にも扉123が設けられており、複数個のレチクルを保管しているレチクルストック124との間でレチクルの受け渡しは扉123を介して行う。

【0162】ケーシング126は、投影光学系P1とウエハWとの間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部に、ウエハWを保持するウエハステージ128、基板としてのウエハWの表面の2方向の位置(フォーカ

ス位置)や傾斜角を検出するための斜入射形式のオートフォーカスセンサ130、オフ・アクセス方式のアライメントセンサ131、ウエハステージ128を載置している定盤129を収納している。このケーシング126には、ウエハWを搬入・搬出するための扉133が設けられており、この扉133の外側にはケーシング116内部の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室132が設けられている。このガス置換室132には扉134が設けられており、装置内部へのウエハWの搬入、装置外部へのウエハWの搬出はこの扉134を介して行う。

【0163】ここで、ケーシング104、150、120、126のそれぞれには、給気弁V1、V2、V3、V6が設けられており、これらの給気弁V1、V2、V3、V6は図示なきガス供給装置に接続された給気管路に接続されている。また、ケーシング104、150、120、126のそれぞれには、排気弁V11、V12、V13、V16が設けられており、これらの排気弁V11、V12、V13、V16は、それぞれ図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。

なお、ガス供給装置からの特定ガスは不図示の温度調整装置により所定の目標温度に制御されている。ここで、特定ガスとしてヘリウムを用いる場合には、温度調整装置は各ケーシングの近傍に配置されることが好ましい。

【0164】同様に、ガス置換室121、134にも給気弁V4、V7と排気弁V14、V17とが設けられており、給気弁V4、V7は給気管路を介して、排気弁V14、V17は排気管路を介してそれぞれ上記ガス供給装置に接続されている。さらに、投影光学系P1の鏡筒にも必要に応じて給気弁(バルブ)V5及び排気弁(バルブ)V15が設けられており、給気弁V5は図示なき給気管路を介して、排気弁V15は図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。

【0165】次に、上記の実施の形態の投影露光装置を使用した半導体デバイスの製造工程の一例につき図17を参照して説明する。図17は、半導体デバイスの製造工程の一例を示し、この図17において、まずシリコン半導体等からウエハWが製造される。その後、ウエハW上にフォトリソを塗布し(ステップS10)、次のステップS12において、上記の実施の形態の投影露光装置のレチクルステージ上にレチクルR1をロードし、走査露光方式でレチクルR1のパターン(符号Aで表す)をウエハW上の全部のショット領域SEに転写(露光)する。なお、ウエハWは例えば直径300mmの半導体(シリコン等)又はSOI(silicon on insulator)等のウエハ(12インチウエハ)であり、ショット領域SEの大きさは一例として非走査方向の幅が25mmで走査方向の幅が33mmの矩形領域である。次に、ステップS14において、現像及びエッチングやイオン注入等を行うことにより、ウエハWの各ショット領域SEに

(29)

特開2002-83766

55

所定のパターンが形成される。

【0166】次に、ステップS16において、ウエハW上にフォトリソストを塗布し、その後ステップS18において、上記の実施の形態の投影露光装置のレチクルステージ上にレチクルR2をロードし、走査露光方式でレチクルR2のパターン（符号Bで表す）をウエハW上の各ショット領域SEに転写（露光）する。そして、ステップS20において、ウエハWの現像及びエッチングやイオン注入等を行うことにより、ウエハWの各ショット領域に所定のパターンが形成される。

【0167】以上の露光工程～パターン形成工程（ステップS16～ステップS20）は所望の半導体デバイスを製造するのに必要な回数だけ繰り返される。そして、ウエハW上の各チップCPを1つ1つ切り離すダイシング工程（ステップS22）や、ボンディング工程、及びパッケージング工程等（ステップS24）を経ることによって、製品としての半導体デバイスSPが製造される。

【0168】なお、上述の各実施の形態では、投影光学系を構成する屈折性の光学部材の材料として石英、又は螢石（ CaF_2 ；フッ化カルシウム）を使用しているが、この CaF_2 に加えて、あるいは CaF_2 に代えて、例えばフッ化バリウム、フッ化リチウム、及びフッ化マグネシウムなどのフッ化物の結晶材料やフッ素がドーパされた石英を使用しても良い。但し、マスクを照明する照明光において十分な減衰化が可能であるならば、投影光学系は単一種類の光学材料で構成することが好ましい。さらに、投影光学系の製造のし易さや製造コストを考えると、投影光学系は石英のみ、又は CaF_2 のみで構成されることが好ましい。

【0169】また、上述の各実施例では、光源としてF₂レーザ又はArFエキシマレーザを用い、狭帯域装置によりそのスペクトル幅を狭帯域化しているが、その代わりに、157nmや193nm等に発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、DFB半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外線または可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（Er）（またはエルビウムとイットリウム（Yb）との両方）がドーパされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

【0170】また、上述の各実施形態では、投影光学系を構成する全ての光学要素が単一の光軸に沿って配置されているものを適用している。しかしながら、本発明は上述の中心遮蔽型の投影光学系には限らず、例えば米国特許第5,689,377号公報の第6図、米国特許第5,691,802号公報の第6図、米国特許第5,805,334号公報の第5図に開示されるような軸外視野を有する反射屈折型投影光学系にも適用できる。この場合、2つの光路偏向鏡と凹面反射鏡とを1つの鏡筒

56

ユニットで保持し、この鏡筒ユニットとは異なる1つ又は複数の鏡筒ユニットで屈折型結像光学系を保持することが好ましい。

【0171】また、本発明は特開2000-58268号（国際出願番号PCT/JP01/01350号）で提案されている軸外視野を有する反射屈折型投影光学系にも適用できる。この場合においても、2つの光路偏向鏡と凹面反射鏡とを1つの鏡筒ユニットで保持し、この鏡筒ユニットとは異なる複数の鏡筒ユニットで2つの屈折型結像光学系を保持することが好ましい。

【0172】軸外視野を有する反射屈折型投影光学系においても、1つの鏡筒ユニットで反射部材の全てを保持することにより、像ずれの安定性や偏心公差の軽減を得られる利点がある。更に、本発明は、ウエハ上の1つのショット領域へマスクパターン像を一括的に転写した後、投影光学系の光軸と直交する面内でウエハを逐次二次元的に移動させて次のショット領域にマスクパターン像を一括的に転写する工程を繰り返すステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）や、ウエハの各ショット領域への露光時にマスクとウエハとを投影光学系に対して投影倍率 β を速度比として同期走査するステップ・アンド・スキャン方式（走査露光方式）の双方に適用することができる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式では、スリット状（細長い矩形状）の露光領域内で良好な結像特性が得られればよいので、投影光学系を大型化することなく、ウエハ上のより広いショット領域に露光を行うことができる。

【0173】ところで、上述の各実施例では、半導体素子の製造に用いられる投影露光装置に本発明を適用している。しかしながら、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子やプラズマディスプレイなどを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドやマイクロマシン等の製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、線像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【0174】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0175】

【発明の効果】本発明によれば、反射屈折系よりなる投影光学系を使用した場合においても、鏡筒を像シフトを最小限にして安定して保持できる。更に、投影光学系の調整過程や調整システムの能力も高くできるため、調整が容易であり、且つ必要に応じて、投影光学系の鏡筒内の雰囲気を不活性ガス等のバージガスで一様に保つこと

(30)

特開2002-83766

57

58

ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第2の実施の形態の投影光学系の基本構成を示す概念図である。

【図2】 本発明の第1の実施の形態の投影光学系を示すレンズ構成図である。

【図3】 その第1の実施の形態の投影光学系の鏡筒の構成を示す断面図である。

【図4】 (a)は図3のAA線に沿う断面図。(b)は図3の上下方向駆動素子20及び継ぎ手19を示す拡大斜視図である。

【図5】 本発明の第2の実施の形態の投影光学系を示すレンズ構成図である。

【図6】 その第2の実施の形態の投影光学系の鏡筒の構成を示す断面図である。

【図7】 図6の能動型分割鏡筒44Aを示す平面図である。

【図8】 本発明の第3の実施の形態の投影光学系を示すレンズ構成図である。

【図9】 その第3の実施の形態の投影光学系の鏡筒の構成を示す断面図である。

【図10】 本発明の第4の実施の形態の投影光学系を示すレンズ構成図である。

*【図11】 その第4の実施の形態の投影光学系の鏡筒の構成を示す断面図である。

【図12】 図11のCC線に沿う平面図である。

【図13】 本発明の第5の実施の形態の投影光学系を示すレンズ構成図である。

【図14】 その第5の実施の形態の投影光学系の鏡筒の構成を示す断面図である。

【図15】 図14中の能動型分割鏡筒77を示す斜視図である。

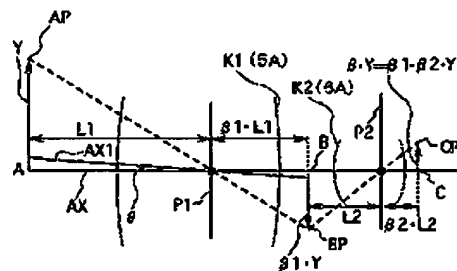
【図16】 本発明の実施の形態の一例の投影露光装置を示す図である。

【図17】 本発明の実施の形態の一例の半導体デバイスの製造工程を示す図である。

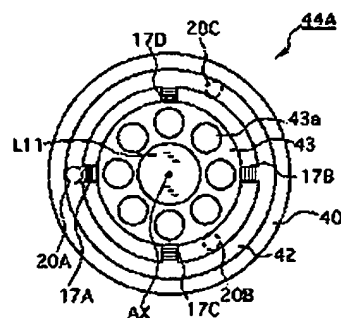
【符号の説明】

R…レチクル、PL…投影光学系、ウエハ…ウエハ、1…物体面、2…中心遮蔽部材、3…一次像(中間像)、4…像面、K1、K2…結像光学系、L11~L13、L21~L24、L2…レンズ、M1…主鏡、M2…副鏡、5…第1バレル、6…第2バレル、11…支持板、14、15、20…上下方向駆動素子、17…偏心方向駆動素子、22A~22E…能動型分割鏡筒、26…主制御系、27…結像特性制御系

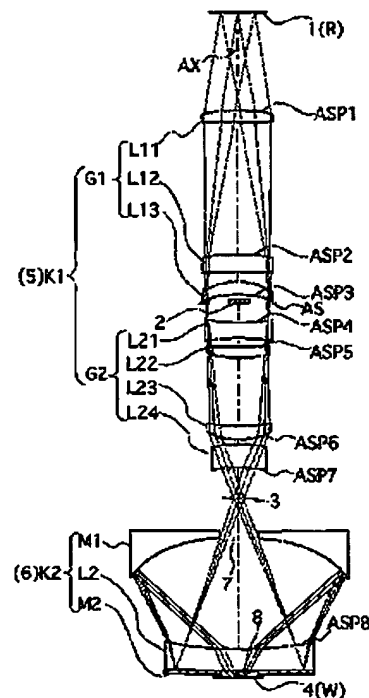
【図1】



【図7】



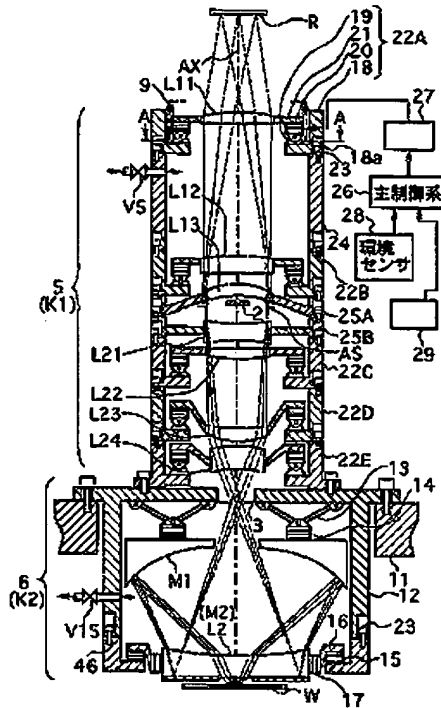
【図2】



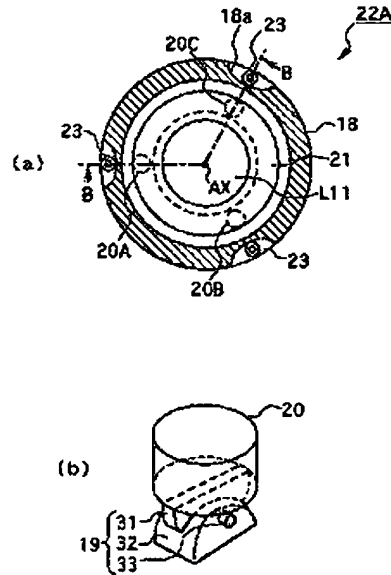
(31)

特開2002-83766

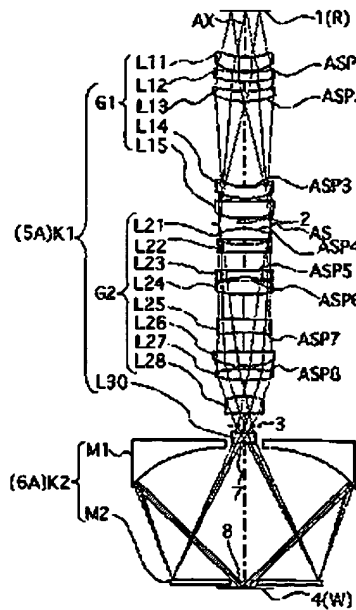
【図3】



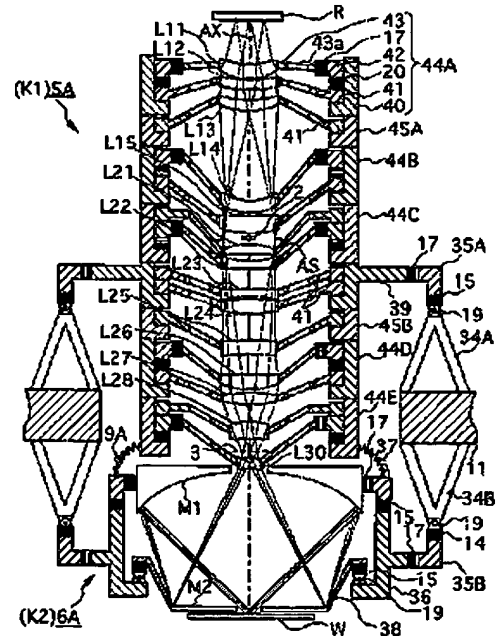
【図4】



【図5】



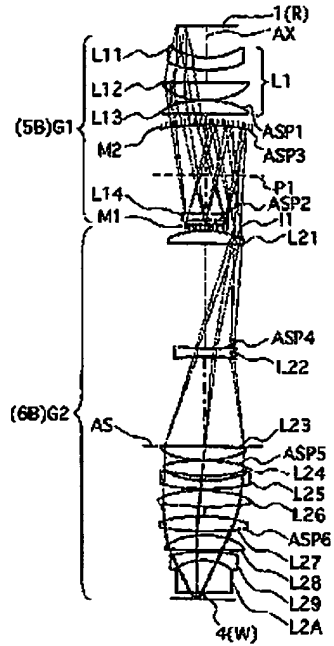
【図6】



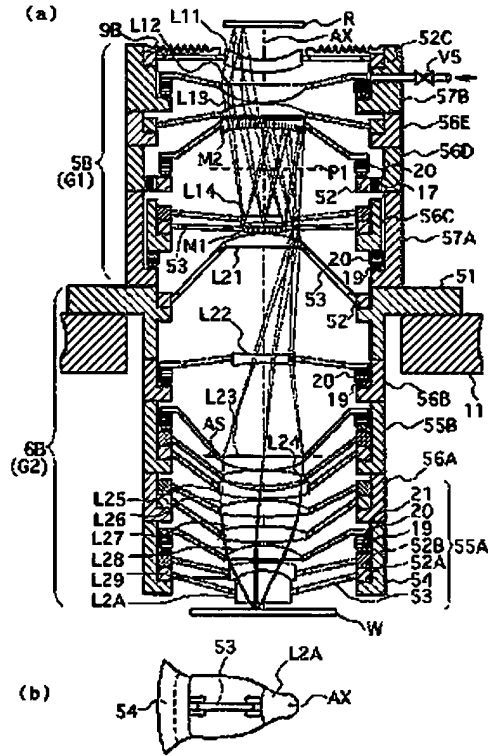
(32)

特開2002-83766

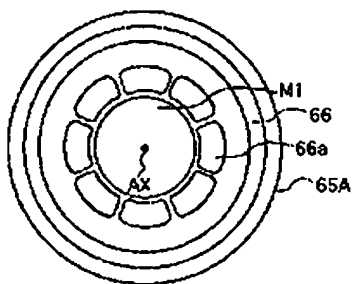
【図8】



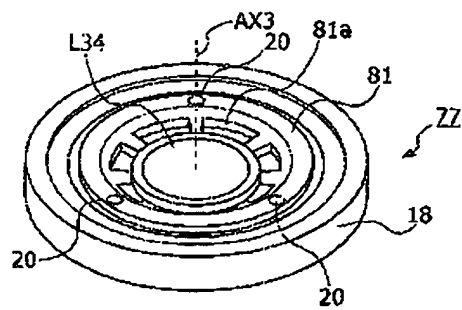
【図9】



【図12】



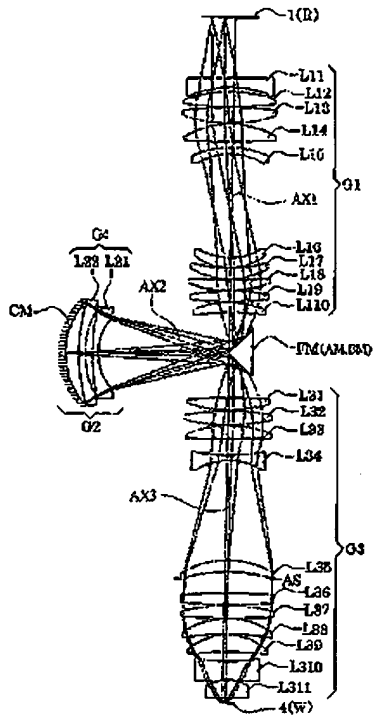
【図15】



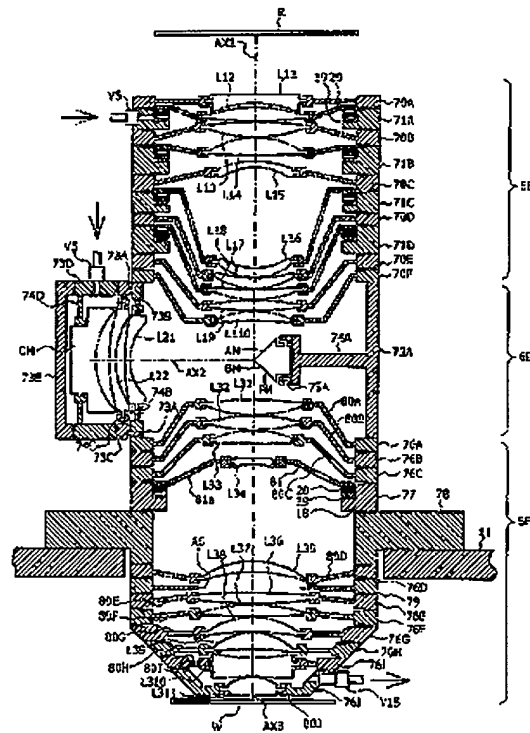
(34)

特開2002-83766

【図13】



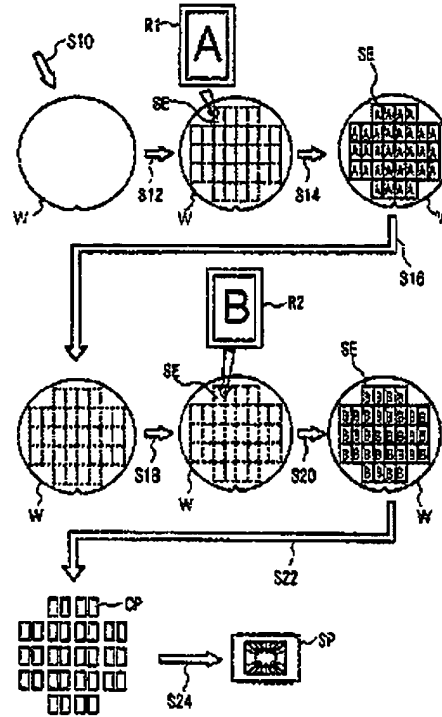
【図14】



(35)

特開2002-83766

【図17】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.
G03F 7/20識別記号
521F I
H01L 21/30J-コード(参考)
515D(72)発明者 大村 泰弘
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内Fターム(参考) 2H044 AA16 AA19 AC01 AE06 AJ04
BM12 BM15 BD20 BE06 BE08
DA01 DD11
2H087 KA21 LA01 NA04 PA08 PA13
PA14 PA15 PA17 PA18 PB08
PB14 PB20 QA02 QA03 QA06
QA07 QA12 QA13 QA17 QA21
QA25 QA33 QA37 QA39 QA41
QA42 QA45 RA05 RA12 RA13
RA37 TA01 TA04
5F046 AA22 BA03 CA04 CA08 CB03
CB12 CB20 CB25 DA13